



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

**FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS
NATURALES RENOVABLES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MANEJO Y
CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE**

**PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD
NACIONAL DE LOJA, SECTOR LA ARGELIA**

Tesis de Grado previa a optar el
título de: Ingeniero en Manejo y
Conservación del Medio Ambiente

AUTOR:

Ángel Geovanny Guamán Sozoranga

DIRECTOR:

Ing. Freddy Eliazar Tinoco Tinoco Mg. Sc

**Loja-Ecuador
2019**

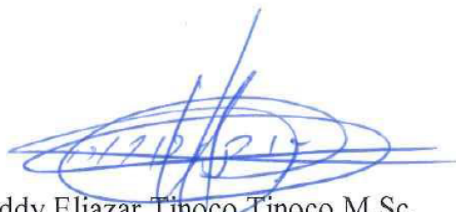


CERTIFICACIÓN

En calidad de director de la tesis titulada: **PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA, SECTOR LA ARGELIA** de autoría del Sr. **Ángel Geovanny Guamán Sozoranga** con C.I. 1150136701 egresado de la carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, certifico que la investigación ha sido culminada dentro del cronograma aprobado y autorizo culminar con los tramites de graduación pertinentes

Loja, 28 de agosto de 2019

Atentamente.



Ing. Freddy Eliazar Tinoco Tinoco M.Sc.

DIRECTOR DE LA TESIS



CERTIFICACIÓN

En calidad de Tribunal Calificador de la tesis titulada **Propuesta de diseño para el tratamiento de aguas residuales de la Universidad Nacional de Loja, sector La Argelia**, de autoría del Sr. Egresado Ángel Geovanny Guamán Sozoranga de la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, certifican que ha incorporado todas las sugerencias efectuadas por los miembros.

Por lo tanto autorizamos al Sr. Egresado su publicación y difusión.

Loja, 06 de diciembre del 2019

Atentamente,

Ing. Raquel Verónica Hernández Ocampo Mg.Sc.,

PRESIDENTA DEL TRIBUNAL

Ing. Marjorie Cristina Díaz López Mg.Sc.,

VOCAL DEL TRIBUNAL

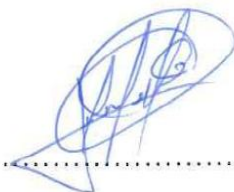
Ing. Jackeline Andrea Castillo Villalta Mg.Sc.,

VOCAL DEL TRIBUNAL

AUTORÍA

Yo, Angel Geovanny Guamán Sozoranga declaro ser autor del presente trabajo de tesis titulada PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA, SECTOR LA ARGELIA, y eximo expresadamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis al Repositorio Institucional - Biblioteca Virtual.



Angel Geovanny Guamán Sozoranga

C.I. 1150136701

Loja, 6 de diciembre del 2019

**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR PARA LA
CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN
ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO**

Yo, Angel Geovanny Guamán Sozoranga declaro ser autor de la tesis titulada **PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA, SECTOR LA ARGELIA**, como requisito para optar al grado de: Ingeniero en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior con los cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los veinticinco días del mes de octubre del dos mil diecinueve, firma el autor



Angel Geovanny Guamán Sozoranga
CI. 1150136701
Dirección: Loja, Barrio Las Peñas
Correo electrónico: angelguamn@gmail.com

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Ing. Fredy Eliazar Tinoco Tinoco Mg. Sc.

Tribunal de grado: Ing. Raquel Verónica Hernández Ocampo Mg. Sc,

Ing. Marjorie Cristina Diaz López Mg. Sc,

Ing. Jackelinne Andrea Castillo Villalta Mg.Sc,

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, doy infinitamente gracias a Dios y la Virgen de El Cisne, por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxitos mis metas propuestas.

Agradezco también de manera sincera a la Universidad Nacional de Loja, a la Facultad Agropecuaria de los Recursos Naturales Renovables y a la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación profesional.

De manera especial expreso mi agradecimiento al Ing. Freddy Eliazar Tinoco Mg. Sc. principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, experiencia, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo de investigación, además de brindarme su confianza y amistad.

Asimismo, agradezco al Laboratorio de Análisis Químico (LAQ-UNL) por el respaldo brindado y al personal que en el laboran, especialmente al Ing. Patricio Aguirre, por las indicaciones brindadas para aclarar cualquier tipo de inquietud que existiera.

Finalmente, a todos mis familiares, amigos y compañeros, que de manera desinteresada me brindaron apoyo emocional e incondicional durante mi vida universitaria.

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por darme la vida y estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mis padres Manuel Guamán y María Sozoranga, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su cariño, comprensión y apoyo incondicional que me supieron brindar y que gracias a ellos he culminado mi carrera profesional.

A mis hermanos: Carlos, Susana, Liliana, Lucia y Lorena, por ayudarme a plasmar mis objetivos como persona y por ser ejemplo a seguir; y, a toda mi familia que de alguna manera aportaron con su granito de arena en este logro alcanzado.

Finalmente, a mis amigos y compañeros, que hicieron de mi vida universitaria una época inolvidable.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR.....	ii
CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL.....	iii
AUTORIA.....	iv
CARTA DE AUTORIZACIÓN.....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 EL AGUA.....	3
2.1.1 Agua cruda.....	3
2.1.2 Agua potable.....	3
2.1.3 Aguas Residuales.....	3
2.2 MUESTREO DE AGUAS RESIDUALES.....	4
2.2.1 Muestra simple, puntual o instantánea.....	5
2.2.2 Muestra compuesta.....	5
2.2.3 Muestra integradas.....	5
2.3 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL.....	5
2.3.1 Características físicas.....	6
2.3.2 Características químicas.....	7
2.3.3 Características microbiológicas.....	9
2.4 TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES.....	11
2.4.1 Pretratamiento.....	11
2.4.2 Tratamientos físicos.....	12
2.4.3 Tratamientos biológicos.....	14
2.4.4 Tratamientos químicos.....	17

2.4.5 Tratamiento de lodos	19
2.5 MARCO LEGAL	19
3. METODOLOGÍA.....	21
3.1 Área de estudio	21
3.2 METODOLOGÍA PARA EL PRIMER OBJETIVO DETERMINAR LA CALIDAD ACTUAL DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMPUS UNIVERSITARIO.....	23
3.2.1 Toma de muestra	23
3.2.2 Etiquetado de las muestras	23
3.2.3 Transporte de la muestra	23
3.2.4 Medición del caudal	24
3.2.5 Parámetros analizados en el laboratorio	25
3.3 METODOLOGÍA PARA EL SEGUNDO OBJETIVO ANALIZAR DISTINTAS ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMPUS UNIVERSITARIO	30
3.4 METODOLOGÍA PARA EL TERCER OBJETIVO DEFINIR EL TRATAMIENTO ÓPTIMO PARA LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMPUS UNIVERSITARIO	31
3.4.1 Diseño del tratamiento.....	31
3.4.1.1 Estimación de la población del campus.....	31
3.4.1.2 Caudales de diseño	33
3.4.1.3 Carga del contaminante	35
3.4.1.4 Diagrama de bloques del diseño del agua residual de la UNL.....	36
3.4.1.5 Dimensionamiento del canal de llegada	38
3.4.1.6 Diseño de rejillas	40
3.4.1.7 Desarenador	44
3.4.1.8 Lagunas anaerobias.....	45
3.4.1.9 Lechos de turba.....	49

3.4.1.10 Eras de secado	52
4. RESULTADOS	54
4.1 Determinar la calidad actual de las aguas residuales del campus universitario	54
4.2 Analizar distintos métodos de tratamiento de aguas residuales al campus	55
4.2.1 Análisis de las alternativas	55
4.3 Definir el tratamiento óptimo para las aguas residuales del campus universitario	57
4.3.1 Construcción.....	67
4.3.1.1 Obra de llegada.....	68
4.3.1.2 Desarenador	68
4.3.1.3 Lagunas anaerobias.....	68
4.3.1.4 Conducciones	68
4.3.1.5 Lechos de turba.....	68
4.3.1.6 Eras de secado	69
4.3.1.7 Plano de construcción.....	70
4.3.1.8 Varios	71
4.3.2 Operación y mantenimiento	71
4.3.2.1 Operación y mantenimiento de cada unidad.....	71
4.3.3 Análisis económico	72
4.3.3.1 Costes de mantenimiento y operación	73
5. DISCUSIÓN	75
6. CONCLUSIONES	78
7. RECOMENDACIONES	79
8. BIBLIOGRAFÍA	80
9. ANEXOS	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características físicas del agua residual	6
Tabla 2. Características químicas de las aguas residuales	7
Tabla 3. Características microbiológicas del agua residual.....	10
Tabla 4. Ventajas y desventajas de los tratamientos físicos	13
Tabla 5. Ventajas y desventajas de los tratamientos biológicos.....	16
Tabla 6. Ventajas y desventajas de los tratamientos químicos.....	19
Tabla 7. Matriz de calificación para el tratamiento biológico	30
Tabla 8. Comparación del área y la población estudiantil de acuerdo a las zonas	32
Tabla 9. Caudales de tratamiento de las aguas residuales	35
Tabla 10. Parámetros de diseño de las aguas residuales del Campus Universitario.....	36
Tabla 11. Coeficiente de pérdida para las rejillas.....	43
Tabla 12. Valores seleccionados para el diseño de las lagunas anaerobias.....	46
Tabla 13. Parámetros de diseño del lecho de turba	49
Tabla 14. Altura de los lechos	51
Tabla 15. Volúmenes unitarios por lecho	51
Tabla 16. Resultados de las características de las aguas residuales de la UNL.....	54
Tabla 17. Estudio de las diferentes alternativas.....	56
Tabla 18. Dimensiones del canal de llegada.....	57
Tabla 19. Dimensiones de las rejillas	58
Tabla 20. Dimensiones del desarenador	59
Tabla 21. Rendimientos de eliminación en el tratamiento físico	60
Tabla 22. Condiciones del agua residual a la entrada y salida del tratamiento	61
Tabla 23. Dimensiones adoptadas para cada laguna anaerobia.....	61
Tabla 24. Rendimiento de eliminación de la laguna anaerobia	62
Tabla 25. Características del agua residual entrada y salida de la laguna anaerobia.....	63
Tabla 26. Dimensiones adoptadas para cada lecho	63
Tabla 27. Rendimiento de eliminación en lechos de turba.....	65
Tabla 28. Características del agua residual a la entrada y salida de los lechos de turba	65
Tabla 29. Dimensiones de la era de secado	66
Tabla 30. Costo de diseño del tratamiento de aguas residuales de la UNL.....	73
Tabla 31. Costos de operación y mantenimiento del diseño anual.....	74

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo de la velocidad del agua	24
Ecuación 2. Cálculo del caudal.....	25
Ecuación 3. Cálculo del área de la tubería.....	25
Ecuación 4. Cálculo del caudal de diseño	33
Ecuación 5. Cálculo del caudal máximo	34
Ecuación 6. Cálculo del caudal punta.....	34
Ecuación 7. Cálculo del radio hidráulico.....	37
Ecuación 8. Cálculo de la pendiente.....	37
Ecuación 9. Cálculo de la velocidad en las tuberías	38
Ecuación 10. Cálculo del coeficiente de Manning	38
Ecuación 11. Cálculo de la altura del agua en el canal.....	39
Ecuación 12. Cálculo del radio hidráulico del agua en el canal	39
Ecuación 13. Cálculo de la velocidad del agua en el canal	40
Ecuación 14. Cálculo del área libre al paso del agua en las rejillas	41
Ecuación 15. Cálculo de la longitud del canal.....	41
Ecuación 16. Cálculo de la altura total del canal.....	41
Ecuación 17. Cálculo de la longitud de las barras	42
Ecuación 18. Cálculo del número de barras	42
Ecuación 19. Cálculo de la pérdida de carga para una rejilla.....	43
Ecuación 20. Cálculo de la superficie transversal del desarenador	44
Ecuación 21. Cálculo de la superficie del desarenador	44
Ecuación 22. Cálculo del tiempo de decantación	45
Ecuación 23. Cálculo de la longitud del desarenador.....	45
Ecuación 24. Cálculo del volumen de la laguna anaerobia	46
Ecuación 25. Cálculo del volumen por tiempo de retención	46
Ecuación 26. Cálculo de la carga volumétrica.....	47
Ecuación 27. Cálculo de la superficie de la lámina de agua.....	47
Ecuación 28. Cálculo del área del fondo de la laguna.....	47
Ecuación 29. Cálculo de la producción de fangos	48
Ecuación 30. Cálculo de la frecuencia de retirada de fangos	48

Ecuación 31. Cálculo de la superficie requerida por percolación	49
Ecuación 32. Cálculo de la superficie requerida por carga hidráulica	50
Ecuación 33. Cálculo de la superficie requerida por carga orgánica.....	50
Ecuación 34. Cálculo de la superficie requerida por carga de sólidos	50
Ecuación 35. Cálculo de la superficie total requerida	50
Ecuación 36. Cálculo de la densidad de la turba	52
Ecuación 37. Cálculo de producción de fangos al año	52
Ecuación 38. Cálculo de fangos extraídos en cada limpieza.....	52
Ecuación 39. Cálculo de la superficie de la era de secado	53
Ecuación 40. Cálculo de número de eras de secado	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de la descontaminación del agua residual.	11
Figura 2. Mapa de ubicación de la zona de estudio.....	22
Figura 3. Mapa de la zona poblacional Universitaria.....	32
Figura 4. Diagrama de bloques del diseño del agua residual UNL.....	37
Figura 5. Vista superior del canal de llegada	57
Figura 6. Vista de perfil del canal de llegada	58
Figura 7. Diseño de las rejillas	59
Figura 8. Vista de la parte superior del desarenador	60
Figura 9. Vista de la parte lateral del desarenador	60
Figura 10. Vista de la parte superior de la laguna anaerobia.....	62
Figura 11. Vista de perfil de la laguna anaerobia.....	62
Figura 12. Vista de la parte superior del lecho de turba.....	64
Figura 13. Vista de la parte lateral del lecho de turba.....	64
Figura 14. Vista de la parte superior de la era de secado	66
Figura 15. Vista de la parte lateral de la era de secado	67
Figura 16. Área de la propuesta del tratamiento de aguas residuales de la UNL.....	67

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	86
Anexo 2. Promedio de los resultados de los ensayos de laboratorio con relación al límite permisible	87
Anexo 3. Punto de muestreo del agua residual de UNL	88
Anexo 4. Análisis de los parámetros físicos, químicos y biológicos en el LAQ	88

ACRÓNIMOS

FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador
LAQ	Laboratorio de Análisis Químico
MAE	Ministerio del Ambiente Ecuatoriano
OMS	Organización Mundial de la Salud
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PTAR	Plantas de Tratamiento de Agua Residual
SENAGUA	Secretaría Nacional del Agua
SENPLADES	Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo
TULSMA	Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente
UNL	Universidad Nacional de Loja
DBO	Demanda Biológica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
NTU	Unidad Felométrica de Turbidez
pH	Potencial de Hidrogeno
TSS	Sólidos Suspendidos Totales
UFC	Unidades Formadoras de Colonias por ml

TEMA:

**PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD
NACIONAL DE LOJA, SECTOR LA ARGELIA**

RESUMEN

En el presente estudio se propone un diseño de tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Nacional de Loja, sector La Argelia, en vista que los tratamientos de aguas residuales son fundamentales para el cuidado del ambiente y la salud pública. Se midió el caudal en la descarga principal utilizando un molinete hidráulico, el resultado de la medición del caudal indican que no existe variación de caudal a lo largo del día siendo el valor promedio del caudal $1076 \text{ m}^3/d$; y posteriormente la caracterización se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Análisis Químico (LAQ/UNL) determinándose las propiedades físicas, químicas y microbiológicas. Los resultados de los análisis de laboratorio muestran que los parámetros que están fuera de los límites del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) son: SST 137.60 mg/l, DBO₅ 282.00 mg/l, DQO 252.00 mg/l, Conductividad Eléctrica 36.2 $\mu\text{s/cm}$, Turbiedad 170.00 NTU, Sulfatos 1335 mg/l, Nitratos 14.85 mg/l, Coliformes totales 500000.00 UFC/100ml y Coliformes fecales 270000.00 UFC/100ml. Con los parámetros obtenidos se procedió a analizar las distintas alternativas de tratamiento de aguas residuales; determinándose un diseño de tratamiento mixto (físico-biológico) sería el más adecuado, descartándose entre ellos los procesos químicos por el costo de operación y mantenimiento. EL sistema tendrá de vida útil 20 años y se consideró para una población futura de 21520 habitantes. La propuesta de diseño mixto consta de: canal de llegada, rejilla, desarenador, laguna anaerobia, lechos de turba y era de secado. Proyectada para remover 75 % de DBO₅, 70 % de DQO, 80 % de Coliformes fecales y 90 % de Coliformes Totales. Con un presupuesto referencial \$ 54300.00 dólares, y el valor de operación y mantenimiento \$ 8800.00 dólares, anuales. Por lo tanto, se establece que la propuesta es viable y aportaría para utilizar las aguas tratadas con otros fines; y contar la institución con un sistema donde docentes y estudiantes puedan realizar actividades con tratamiento de aguas residuales.

Palabras claves: Caracterización, parámetros, tratamientos, aguas residuales.

ABSTRACT

The present study proposes a design of wastewater treatment of the National University of Loja, La Argelia sector, in view of the fact that wastewater treatments are fundamental for the care of the environment and public health. The flow rate in the main discharge was measured using a hydraulic windlass, the result of the flow measurement indicating that there is no variation in flow rate throughout the day with the average flow value being $1076 \text{ m}^3/\text{d}$; and subsequently the characterization was carried out in the facilities of the Chemical Analysis Laboratory (LAQ / UNL) determining the physical, chemical and microbiological properties. The results of the laboratory analysis established that the parameters that are outside the limits of the Unified Text of the Secondary Legislation of the Ministry of Environment (TULSMA) are: SST 137.60 mg / l , BOD5 282.00 mg / l , COD 252.00 mg / l , Electrical Conductivity $36.2 \mu\text{s / cm}$, Turbidity 170.00 NTU , Sulfates 1335 mg / l , Nitrates 14.85 mg / l , Total Coliforms $500000.00 \text{ CFU / 100ml}$ and Fecal Coliforms $270000.00 \text{ CFU / 100ml}$. With the selected parameters, the different wastewater treatment alternatives will be processed and analyzed; determining a mixed treatment design (physical-biological) would be the most appropriate, discarding chemical processes among them for the cost of operation and maintenance. The system will have a useful life of 20 years and will be considered for a future population of 21520 inhabitants. The mixed design proposal consists of: arrival channel, grid, sand trap, anaerobic lagoon, peat beds and drying era. Projected for 75% BOD5 remover, 70% COD, 80% fecal coliforms and 90% Total Coliforms. With a referential budget \$ 54300.00 dollars, and the operation and maintenance value \$ 8800.00 dollars, annual. Therefore, it establishes that the proposal is viable and contributes to use treated waters with other fines; and have the institution a system where teachers and students can carry out activities with wastewater treatment.

Keywords: Characterization, parameters, treatments, wastewater.

1. INTRODUCCIÓN

EL agua es uno de los elementos naturales fundamentales, junto con el aire, la tierra y la energía, constituyen los cuatro recursos básicos donde se apoya la vida en cualquiera de sus formas, sin embargo; la importancia de la calidad del agua, ha tenido un lento desarrollo, sólo hasta finales del siglo XIX se reconoció su importancia principalmente por el origen de múltiples enfermedades de origen hídrico (Oswald, 2011). El agua es uno de los ejemplos más claros y contundentes: un mayor suministro de agua significa una mayor generación de aguas residuales (Ramos, 2016). La degradación de este recurso ha sido motivo de preocupación de las sociedades humanas en las últimas décadas. Por esta razón, existe un creciente interés por proteger y estudiar sus cambios, desarrollando criterios físicos, químicos y biológicos que permitan estimar el efecto y magnitud de las intervenciones humanas (Lluria, 2012).

El acelerado desarrollo poblacional y la gran demanda del recurso hídrico dan lugar a la contaminación de las aguas y por ende la pérdida de la vida acuática en ríos. Esta problemática requiere de estudios urgentes que ayuden a tomar medidas para recuperar las aguas residuales y darles un uso productivo en el desarrollo de la vida terrestre (Sastre, 2007).

Según Arocutipa, (2013) el tratamiento de aguas residuales, es un proceso de tratamiento que incorpora transformaciones físicas, químicas y biológicas, con el objeto de tratar y remover los contaminantes del agua residual. Está debe ser tratada antes de que vuelva de nuevo a los cauces naturales, necesitando ser depurada antes de su vertido final, para evitar que los distintos contaminantes lleguen a los ecosistemas (Ramos, 2016).

El manejo efectivo de aguas residuales debe dar como resultado un efluente ya sea reciclado o reusable, o uno que pueda ser descargado de manera segura en el ambiente. La meta del tratamiento de aguas residuales nunca ha sido producir un producto estéril, sin especies microbianas, sino reducir el nivel de microorganismos dañinos a niveles más seguros de exposición, donde el agua es comúnmente reciclada para el riego o usos industriales (Reynolds, 2012). Muchas opciones de tratamiento pueden ayudar a reducir los efectos de contaminación ambiental. La eficacia del tratamiento debe ser balanceada con el

costo y la aplicación práctica, permitiendo de esta manera que el agua que se desea tratar pueda eliminar la mayor parte de contaminantes presentes en la misma con la finalidad de que sus parámetros cumplan con los límites establecidos por las normas ambientales (TULSMA, 2015).

En los últimos años el número de estudiantes, docentes y administrativos del campus universitario se ha incrementado y con ello el consumo de agua, que actualmente después de usarla se descarga al sistema de alcantarillado sin tratamiento alguno, la falta de estos afecta la salud pública y calidad de vida de los habitantes. GEO Loja, (2007) refiere que gran parte de las descargas se las realiza en ríos de la ciudad, lo que han provocado un grave deterioro en la calidad de vida de los habitantes, del ambiente y el paisaje. Por ello el recurso hídrico no puede ser aprovechado para otros usos (riego, recreación y generación de energía).

Según Aguilar (2010) en el Campus Universitario el sistema de alcantarillado sanitario está constituido por un sistema de tuberías de hormigón simple, pozos y cajas de revisión, las cuales en su mayoría se encuentran en mal estado, otro punto de inflexión es que ninguno de los laboratorios tiene un sistema de gestión de tratamiento de las sustancias líquidas o las disoluciones, estas son vertidas directamente al desagüe que al contacto con la demás agua residual aumentan el grado de contaminación, sobre todo si se trata de ácidos y de bases. Teniendo en cuenta esto se planteó la siguiente pregunta de investigación: ¿Se puede plantear un tratamiento para las aguas residuales, generadas por el Campus Universitario, que permita cumplir con los límites máximos permisibles establecidos por la legislación ambiental ecuatoriana de vertidos en cuerpos de agua dulce? Para lo cual se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo general

- Proponer el tratamiento óptimo de aguas residuales generadas por la Universidad Nacional de Loja.

Objetivos específicos:

- Determinar la calidad actual de las aguas residuales del campus universitario.
- Analizar distintas alternativas de tratamiento para las aguas residuales del campus universitario.

- Definir el tratamiento óptimo para las aguas residuales del campus universitario.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 EL AGUA

El agua es el componente principal de la materia viva, constituye del 50 al 90 % de la masa de los organismos vivos (García, 2011). Es uno de los compuestos químicos más importantes para los seres humanos y la vida en general, ya que se encuentra distribuido en todo el planeta es indispensable para el desarrollo de la vida sin ella no existiría ningún ser vivo (ONU, 2017).

2.1.1 Agua cruda

Se entiende como agua cruda, a aquella que se encuentra en estado natural en el medio ambiente; es decir, aquella agua que no ha recibido ningún tipo de tratamiento que sirva para el consumo (Cortes et al, 2010). Esta agua debe ser tratada antes de convertirse en agua potable, puede contener bacterias que no podemos ver a simple vista y puede transmitir enfermedades cuando tiene microbios o químicos peligrosos, se la conoce como agua bruta (Montoya y Loiza, 2011).

2.1.2 Agua potable

Se considera que el agua es potable, cuando presenta una calidad excepcional en su composición, para que pueda ser utilizada para el consumo humano. Dentro de este ámbito, si nos referimos el agua pueda que ser apta para el consumo humano, ésta tendrá que obligatoriamente pasar por operaciones y procesos unitarios como: mezclado, sedimentación, flotación, filtración en medio granular, coagulación-floculación, adsorción, desinfección, declaración (SENAGUA, 2010).

2.1.3 Aguas Residuales

Las aguas residuales son aquellas que se generan en las viviendas, lugares comerciales o públicos se caracterizan por la presencia de heces fecales, restos de moléculas de productos de actividades de limpieza, grasas y materia (Campos y Gómez, 2009). Se define a las aguas residuales como aguas de composición variada provenientes

de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, que hayan sufrido degradación en su calidad original (TULSMA, 2015).

2.1.3.1 Agua residual doméstica

Se llaman aguas residuales domésticas a aquellas aguas que provienen de las actividades domésticas de la vida diaria como el lavado de platos, ropa, baños, en la preparación de alimentos y otros usos (Garduño, 2018).

2.1.3.2 Agua residual industrial

Estas aguas son llamadas así puesto que derivan de los distintos procesos industriales de un sin número de fábricas, que han sido contaminadas por algún medio por actividades de origen antropogénico industrial o comercial y luego son liberadas al ambiente o reutilizados (Tuset, 2015).

2.2 MUESTREO DE AGUAS RESIDUALES

El muestreo es el proceso de seleccionar una muestra específica para hacer el análisis, el proceso de recolección debe considerar algunos aspectos, a fin de que pueda cumplirse el objetivo propuesto. La composición de la muestra puede variar con el tiempo una vez recogida, causa cambios químicos, reacciones con el aire o interacción de la muestra con el recipiente. Las técnicas de muestreo y de análisis usadas para la caracterización de las aguas residuales van desde determinaciones químicas cuantitativas y precisas, hasta determinaciones biológicas y físicas cualitativas (Ramalho, 2013).

Según Reutelshöfer y Guzmán (2015) para determinar la calidad de agua residual del se realiza mediante cuatro principios importantes en la toma de muestras.

- Lugar: elegir un lugar adecuado y Accesible para tomar la muestra.
- Tiempo: considerar el tiempo adecuado para tomar la muestra.
- Técnica: usar una técnica del muestreo adecuada.
- Frecuencia: tomar las muestras en la frecuencia adecuada.

2.2.1 Muestra simple, puntual o instantánea

Este tipo de muestras son tomadas en un punto específico durante un tiempo de minutos a segundos y representan la composición del agua en un tiempo y un punto determinado en el espacio en la zona de muestreo. Las muestras puntuales se emplean para definir las características de descargas instantáneas y para realizar la identificación de la fuente y poder posteriormente evaluar los efectos potenciales en los procesos de tratamiento, conocer las variaciones y los extremos en un flujo de desechos en determinado (Morocho, 2018).

2.2.2 Muestra compuesta

Se describen como muestras compuestas a la mezcla de varias muestras simples tomadas en el mismo punto en diferente intervalo de tiempo, cuyo volumen en la composición es proporcional al caudal, este tipo de muestreo se conoce también como muestras compuesta-tiempo (Marín, 2017).

2.2.3 Muestra integradas

Este tipo de muestreo consiste en el análisis de muestras puntuales tomadas en diferentes puntos de manera simultánea, tan cerca como sea posible, el muestreo debe realizarse de manera proporcional con los caudales medidos al momento de toma de la muestra. Este tipo de muestreo deben ser usado en los siguientes casos:

- Casos donde se empleen tratamientos combinados para diferentes corrientes de aguas residuales.
- Cuando se realiza el cálculo de las cargas (Kg/d) de las sustancias contaminantes en la corriente de agua (Fernández, 2015).

2.3 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL

El agua residual presenta características físicas, químicas y microbiológicas, debido a su procedencia, ya sea urbana, industrial, comercial, estas características se describen en los siguientes apartados.

2.3.1 Características físicas

A continuación, en la Tabla 1 se especifican las características físicas de las aguas residuales de acuerdo a Metcalf y Eddy, (2005).

Tabla 1. Características físicas del agua residual

Parámetro	Definición
Olor	Delgadillo et al, (2010). Manifiesta que el olor de un agua residual fresca y bien tratada es inofensivo, razonablemente soportable, pero cuando el proceso de degradación de contaminantes se realiza en condiciones anaerobias, existe una amplia gama de olores desagradables que son liberados.
Color	El color es el resultado de la reflexión de ciertas longitudes de onda de la luz incidente. El color puro se debe a las sustancias disueltas, se obtiene después de eliminar la turbidez. El color aparente se debe a la suma de sustancias disueltas más las partículas en suspensión. En las aguas limpias no contaminadas el color amarillo se debe a sustancias húmicas, los colores rojizos se deben a compuestos de hierro, las tonalidades negras se deben a la presencia de manganeso.
Sólidos	Los sólidos que se presentan en el agua residual pueden ser de tipo orgánico y/o inorgánico y provienen de las diferentes actividades industriales. Los sólidos se clasifican como: sólidos totales, sólidos en suspensión, sólidos totales disueltos, sólidos totales volátiles y sólidos volátiles en suspensión (Guevara y Martínez, 2017).

Turbiedad	La turbidez en el agua se da por la presencia de material en suspensión, lo que afecta a la transmisión de la luz. Un agua turbia da a entender una mala calidad de la misma.
Densidad	Característica importante del agua residual, pues la formación de corrientes de fangos depende de ella. Se la expresa como el cociente de la masa por la unidad de volumen.
Temperatura	Sabiendo que el agua residual es una mezcla de aguas utilizadas, de cocina u otros, el agua residual siempre tendrá una temperatura mayor al agua potable. La temperatura eleva el grado de descomposición de la materia orgánica, produciendo gran consumo de oxígeno.

2.3.2 Características químicas

A continuación, en la Tabla 2 se especifican las características químicas de las aguas residuales de acuerdo a Metcalf y Eddy, (2005).

Tabla 2. Características químicas de las aguas residuales

Parámetro	Definición
Materia orgánica	Aproximadamente, un 75 % de los sólidos en suspensión y un 40 % de los sólidos disueltos de un agua residual representan materia orgánica. Resultan de los compuestos orgánicos de la flora y fauna y de la actividad del hombre.
Grasas y aceites	Parámetro fundamental de las aguas residuales urbanas, proviniendo exclusivamente de la actividad del hombre. Los vertidos que contienen grasas, son capaces de incrementar a la DQO en hasta un 30 % (Hernández, 2015).
Materia inorgánica	El contacto del agua con formaciones geológicas o en su defecto por aguas tratadas y sin tratar hace que aumenten

	las sustancias inorgánicas.
Potencial de hidrógeno (pH)	El valor del pH es un parámetro de gran importancia para determinar la calidad de un agua residual, debido a que el rango en el cual se desarrollan los procesos biológicos corresponde a un intervalo estrecho y crítico (5,5 - 9,5), no existiendo vida en valores fuera del mismo (Casero, 2016).
DBO5	La demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) de un agua residual, se puede definir como la cantidad de oxígeno que precisan los microorganismos, para la eliminación de la materia orgánica biodegradable existente en el agua residual, a través de procesos bioquímicos, en las siguientes condiciones de reacción (Cevallos, 2014).
DQO	La demanda química de oxígeno (DQO) de un agua residual, se puede definir como la cantidad de oxígeno que se precisaría para la oxidación de la materia orgánica y algún compuesto inorgánico, por medio de reactivos químicos (Garrido, 2018).
Conductividad	Es definida como la capacidad que tiene el agua para transmitir corriente eléctrica. En el agua residual este parámetro es elevado, ya que presentan altas concentraciones de CL, NO3, SO4 ⁻² y otros iones.
Nitrógeno (N)	En las aguas residuales urbanas ambos elementos son abundantes, en forma de fosfatos, nitratos, amonio y formando compuestos orgánicos más o menos complejos como pueden ser proteínas. Si las aguas residuales son frescas, el nitrógeno se encuentra en forma de urea y compuestos proteínicos, pasando posteriormente a forma amoniacal por descomposición bacteriana (Casero, 2016).
Azufre (S)	Conocer su presencia en las aguas residuales es importante por los efectos que presentan, mal olor y corrosión. Se

	<p>presenta como ion sulfato que es liberado en la degradación. El sulfato se reduce en sulfuro y sulfuro de hidrógeno.</p>
Alcalinidad	<p>Propiedad que obtiene el agua residual por aguas de tratamiento, aguas subterráneas o por sustancias añadidas en sus usos.</p>
Cloruros	<p>Su presencia se debe a heces animales o humanas en aguas residuales. Éstas a su vez pueden contaminar cursos de agua. Por lo que, si se verifica la presencia de esta característica en un cuerpo de agua natural, es indicativo que aguas arriba se vierten aguas residuales.</p>
Gases	<p>Existen dos clases, unos presentes en la atmósfera como el nitrógeno, oxígeno y dióxido de carbono. Y otra clase que proviene de la descomposición de la materia orgánica (de importante presencia en aguas residuales) los cuales son el metano, el sulfuro de hidrógeno, el amoniaco.</p>
Metales pesados	<p>Su presencia en grandes cantidades es muy tóxica. Proviene de la industria metalúrgica o de explotaciones en el suelo para su uso en diferentes aspectos. Es conveniente medir su nivel y realizarles el tratamiento debido para separarlos del agua y que luego no representen un riesgo. Siendo los más comunes: arsénico, cadmio, calcio, plomo y mercurio.</p>
Pesticidas	<p>Es indispensable conocer su presencia en un cuerpo de agua, puesto que son muy tóxicos. Su presencia indica contaminación.</p>

2.3.3 Características microbiológicas

Las características biológicas son de gran valor ya que con ellas establecemos el control de enfermedades causadas por organismos patógenos de origen humano, ya que bacterias y microorganismos desempeñan un papel importante en la descomposición y

estabilización de la materia orgánica, pudiendo desarrollarse este proceso en un medio natural o en una planta de tratamiento Ferrer et al, (2018).

A continuación, en la Tabla 3 se especifican las características microbiológicas del agua residual de acuerdo a Metcalf y Eddy, (2005).

Tabla 3. Características microbiológicas del agua residual

Parámetro	Definición
Bacterias	Las bacterias son de reino protista unicelulares, las cuales se nutren de alimentos solubles, y se encuentran constituidas por 80 % agua y el 20 % restante de materia seca. En este tipo de organismos se encuentra la bacteria de la Escherichia Coli, el mismo que se encuentra en la materia fecal y el principal contaminante de las aguas. Por lo tanto, al que mayor cuidado se le debe tener para poderlo eliminar por completo de las aguas.
Virus	Son tan importantes como las bacterias, pues estos organismos también provienen de las heces, además se sabe que pueden permanecer en un cuerpo de agua hasta 6 días y en aguas residuales hasta 41 días, resultando así que su eliminación debe ser puntual para que no existan brotes de contaminación y por ende enfermedades graves como la hepatitis.
Protozoos	Son capaces de mantener el equilibrio entre los distintos microorganismos. Dentro de este grupo se encuentran los flagelos, las amebas y los bacilos. En el caso de que estén presentes en aguas que van a ser destinada para el consumo humano es de vital importancia que sean eliminados, para así también evitar enfermedades.
Hongos	Son necesarios pues ayudan a la degradación de la materia orgánica, sin ellos esta se acumularía.

2.4 TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES

Según TULSMA, (2015) el tratamiento de aguas residuales son combinaciones de diferentes procesos que tienen como fin la remoción de contaminantes presentes. La remoción debe realizarse hasta adquirir los límites máximo permisible estipulados por la legislación ambiental ecuatoriana.

El grado de tratamiento que se utiliza depende del uso que tendrá el efluente del agua tratada, por ejemplo, si es para algún uso como riego o si es vertido a cuerpos de agua dulce o alcantarillado (Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York, 2008), (Figura 1).

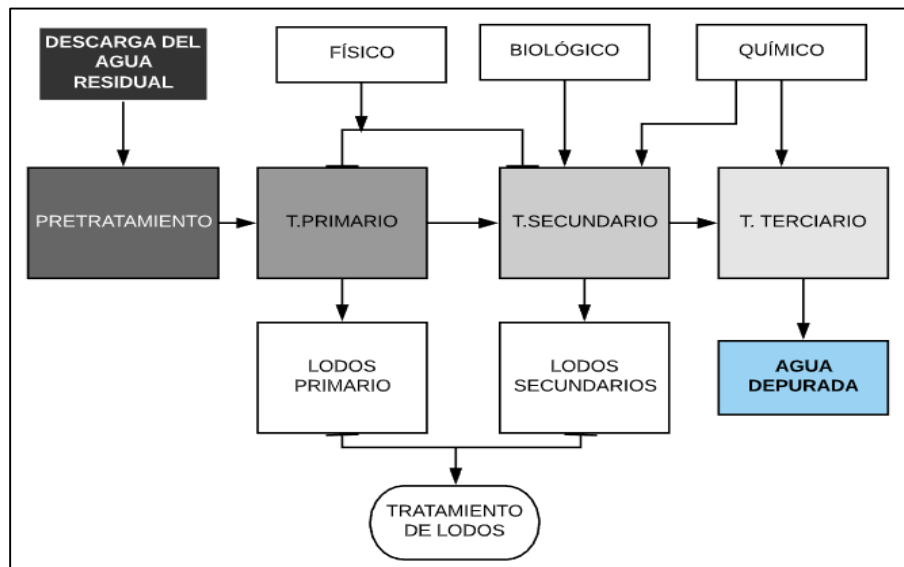


Figura 1. Esquema de la descontaminación del agua residual.

Los tratamientos de aguas residuales se clasifican de acuerdo como es tratada el agua para poder darle un reusó a la misma que comprende las siguientes etapas: pretratamiento, tratamiento físico, biológico, químico y finalmente el tratamiento de lodos.

2.4.1 Pretratamiento

El pretratamiento de aguas residuales se lo realiza para disminuir el contenido de sólidos en suspensión o acondicionar las aguas residuales con la intención de no afectar procesos posteriores como mezclado, filtración, entre otros. Tiene como objetivo la retención de sólidos gruesos, sólidos finos con densidad mayor al agua y arenas, con el fin de facilitar el tratamiento posterior. Son usuales el empleo de canales con rejas gruesas y

finas, desarenadores, trampas de grasas y en casos especiales se emplean tamices (MAE, 2015).

2.4.2 Tratamientos físicos

Los procesos físicos de tratamientos de aguas residuales son todos aquellos en los que se emplean las fuerzas físicas para el tratamiento. En general, las operaciones físicas se emplean durante todo el proceso del tratamiento de las aguas residuales, aunque algunas son casi exclusivamente operaciones de pretratamiento (Fernández, 2015).

- **Rejillas.** -Es una operación en la que se trata de eliminar sólidos de mayor tamaño que el que habitualmente tienen las partículas que arrastran las aguas. El objetivo es eliminarlos y evitar que dañen equipos posteriores del resto de tratamientos. Suele ser un tratamiento previo a cualquier otro. El equipo que se suele utilizar son rejillas por las que se hace circular el agua, construidas por barras metálicas de 6 o más mm, dispuestas paralelamente y espaciadas entre 10 y 100 mm. Se limpian con rastrillos que se accionan normalmente de forma mecánica. En otros casos, si el tipo de sólidos lo permite, se utilizan trituradoras, reduciendo el tamaño de sólidos y separándose posteriormente por sedimentación u otras operaciones (Guevara, 2013).
- **Desarenador.** -Operación física en la que se aprovecha la fuerza de la gravedad que hace que una partícula más densa que el agua tenga una trayectoria descendente, depositándose en el fondo del desarenador. Esta operación será más eficaz cuanto mayor sea el tamaño y la densidad de partículas a separar del agua, es decir, cuanto mayor sea su velocidad de sedimentación, siendo el principal parámetro de diseño para estos equipos. A esta operación se le suele denominar también decantación (Ramos, 2013).
- **Filtración.** -La filtración es una operación en la que se hace pasar el agua a través de un medio poroso, con el objetivo de retener la mayor cantidad posible de materia en suspensión. El medio poroso tradicionalmente utilizado es un lecho de arena, de altura variable, dispuesta en distintas capas de distinto tamaño de partícula, siendo la superior la más pequeña y de entre 0.15 mm y 0.3 mm. El mecanismo de la separación de sólidos es una combinación de asentamiento, retención, adhesión y atracción Camacho et al, (2010).

- **Flotación.** -Operación física que consiste en generar pequeñas burbujas de gas (aire), que se asociarán a las partículas presentes en el agua y serán elevadas hasta la superficie, de donde son arrastradas y sacadas del sistema. Obviamente, esta forma de eliminar materia en suspensión será adecuada en los casos en los que las partículas tengan una densidad inferior o muy parecida a la del agua, así como en el caso de emulsiones, es decir, una dispersión de gotas de un líquido inmisible, como en el caso de aceites y grasas. En este caso las burbujas de aire ayudan a “flotar” más rápidamente estas gotas, dado que generalmente la densidad de estos líquidos es menor que la del agua. (Rojas, 2008).
- **Ventajas y desventajas de los tratamientos físicos**

Tabla 4. Ventajas y desventajas de los tratamientos físicos

<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
No requiere una gran superficie	Necesidad de terreno con desnivel
Admite variaciones importantes de carga	Menor eficacia entre tamaño y la densidad de partículas
Bajo coste de explotación y mantenimiento	Limpieza manual y constante
Sin consumo energético	Variaciones del caudal
No existen períodos de funcionamiento	Producción de fangos
No depende de las condiciones climáticas	Emanación de olores
Eliminación de sólidos grandes	No se integra al paisaje

2.4.3 Tratamientos biológicos

Constituyen una serie de importantes procesos de tratamiento que tienen en común la utilización de microorganismos (entre las que destacan las bacterias) para llevar a cabo la eliminación de componentes indeseables del agua, aprovechando la actividad metabólica de los mismos sobre esos componentes. La aplicación tradicional consiste en la eliminación de materia orgánica biodegradable, tanto soluble como coloidal, así como la eliminación de compuestos que contienen elementos nutrientes (Lluria, 2012).

- **Lagunaje.** -El lagunaje es una técnica de depuración no convencional que aprovecha los procesos naturales de autodepuración del agua. El agua residual es retenida en varias lagunas correctamente impermeabilizadas donde tienen lugar procesos físicos (decantación de sólidos), químicos (reacciones de oxidación) y biológicos (degradación de materia orgánica debida a actividad microbiológica).

Según Gandarillas, (2016) en función de la presencia o no de oxígeno, las lagunas se clasifican en aerobias, anaerobias y facultativas, siendo necesaria una combinación de ellas para conseguir una depuración adecuada.

- **Lagunas anaerobias.** -Estas lagunas se situarán al comienzo del proceso. El agua bruta es alimentada y se produce la decantación de los sólidos presentes. La ausencia de oxígeno da lugar al desarrollo de bacterias anaerobias que degradarán parcialmente la materia orgánica.
- **Lagunas facultativas.** -Se sitúan después de las lagunas anaerobias y se distingue una zona aerobia en superficie y una zona anaerobia en el fondo. Se producirá la estabilización de la materia orgánica presente en el agua.
- **Lagunas de maduración o aerobias.** -Se trata de lagunas de poca profundidad, lo que favorece la oxigenación por transferencia superficial, además de la proliferación de organismos fotosintéticos tales como algas o bacterias. Por otro lado, la acción de la radiación ultravioleta favorece la eliminación de microorganismos patógenos y mineralización de materia orgánica.
- **Lecho de turba.** -El elemento esencial de este sistema de depuración es un lecho de turba (con un espesor de aproximadamente (0,4-0,5 m) que se coloca sobre una

delgada capa de arena (con un espesor de aproximadamente 0,1 m), soportada a su vez por una capa de grava con un espesor de aproximadamente 0,3 m (Valencia, 2013). La depuración se realiza mediante el paso del agua residual a través del lecho de turba, que sirve de soporte para el desarrollo de bacterias y microorganismos poniendo en contacto esta masa microbiana con los compuestos y elementos que el agua residual lleva disuelta, produciéndose reacciones de tipo físico-químico (filtración y adsorción) y de síntesis y estabilización biológica a través de las cuales, la materia en suspensión e incluso un gran porcentaje de las disueltas, son retenidas y transformadas por oxidación-reducción de tipo aeróbico o facultativo, en compuestos más simples o naturales (Tejero, 2015).

- **Lechos bacterianos o filtros percoladores.** -Se trata de un sistema de depuración biológico aerobio cuyo funcionamiento se basa en hacer circular, a través de un medio poroso, aire y agua residual. El material del medio poroso puede ser natural (cantos rodados, antracita, escoria, etc.) o artificial (plásticos). La circulación del aire se realiza de forma natural o forzada, generalmente a contra corriente del agua. Los microorganismos presentes en el agua se adhieren a los elementos que forman el lecho, donde se desarrollan y degradan la materia orgánica y sustancias contaminantes presentes en el agua. Los elementos del lecho están diseñados con una alta superficie específica, lo que permite el desarrollo de una gran cantidad de biomasa en el lecho y, por consiguiente, rendimientos de eliminación elevados (Rojas, 2008).
- **Filtros verdes.** -Sistema natural de tratamiento de aguas residuales que consiste en el empleo de una superficie de terreno sobre la que se establece cultivos agrícolas, forrajeros o forestales para depurar dichas aguas, utilizando generalmente masas forestales. El proceso de depuración de las aguas consiste en un tratamiento físico, químico y biológico, donde interviene tanto la acción del suelo y de las plantas, como de los microorganismos del medio. En la autodepuración se producen dos procesos fundamentales para la eliminación de la materia orgánica que se desarrollará en la capa biológica activa del suelo (Rojas, 2008).
- **Humedales artificiales.** -Según Benefield, (2010) son zonas construidas por el hombre en las que se reproducen, de manera controlada, los procesos físicos,

químicos y biológicos de eliminación de contaminantes que ocurren normalmente en los humedales naturales. Se realiza mediante un lecho de filtración formado por vegetación acuática.

Se clasifican, dependiendo de cómo circula el agua en:

- Superficial → por encima de sustrato de plantas.
- Subterránea → agua circula por los espacios intersticiales del lecho filtrante.

Cada filtro debe tener un recubrimiento impermeable y debe estar formado por una capa de grava para drenar de al menos 20 cm seguida de una capa de arena y otra de grava o de una capa de arena y grava fina, para el efluente. Este lecho filtrante sirve para la eliminación de sólidos, de soporte tanto para las bacterias y para la vegetación generalmente plantas perennes como carrizo.

- **Ventajas y desventajas de los tratamientos biológicos**

Tabla 5. Ventajas y desventajas de los tratamientos biológicos

Ventajas	Desventajas
Sin consumo energético	Mayor superficie que los sistemas convencionales
Fácil integración en el entorno	Presencia de insectos
Ausencia de elementos electromecánicos	Si no hay buen tratamiento, posibilidad de olores
Bajo coste de construcción y mantenimiento	Dependencia de las condiciones climáticas
Sin necesidad de personal cualificado para su explotación y mantenimiento	Depende en gran medida de la temperatura que tenga el afluente, así como de su pH y de los contaminantes
Bacterias y otros organismos, acelera las reacciones químicas	Son sensibles a recibir agua residual contaminada con pesticidas
Bajo costo	Alto contenido de lodos

2.4.4 Tratamientos químicos

Los procesos químicos son todos aquellos procesos en los que la eliminación de los contaminantes del agua residual se lleva a cabo mediante la adición de reactivos químicos o bien mediante las propiedades químicas de diversos compuestos.

- **Precipitación.** -Consiste en la eliminación de una sustancia disuelta indeseable, por adición de un reactivo que forme un compuesto insoluble con el mismo, facilitando así su eliminación por cualquiera de los métodos descritos en la eliminación de la materia en suspensión. El término precipitación se utiliza más para describir procesos como la formación de sales insolubles, o la transformación química de un ión en otro con mayor o menor estado de oxidación que provoque la formación de un compuesto insoluble. Un reactivo de muy frecuente uso en este tipo de operaciones es el calcio, dada la gran cantidad de sales insolubles que forma, por ejemplo, es el método utilizado para la eliminación de fosfatos (nutriente). Además, posee cierta capacidad coagulante, lo que hace su uso masivo en aguas residuales urbanas (Rivas , 2014).
- **Procesos Electroquímicos.** -Está basado en la utilización de técnicas electroquímicas, haciendo pasar una corriente eléctrica a través del agua y provocando reacciones de oxidación-reducción tanto en el cátodo como en el ánodo. Por lo tanto, se utiliza energía eléctrica como vector de descontaminación, siendo su coste uno de las principales desventajas de este proceso. Sin embargo, como ventajas cabe destacar la versatilidad de los equipos, la ausencia tanto de la utilización de reactivos como de la presencia de fangos. Las consecuencias de las reacciones que se producen pueden ser indirectas, como en el caso de la electrocoagulación, electroflotación o electro floculación, donde los productos formados por electrolisis sustituyen a los reactivos químicos, y supone una alternativa con futuro a la clásica adición de reactivos, a través de una oxidación o reducción directa (Romero, 2010).
- **Intercambio Iónico.** - Es una operación en la que se utiliza un material, habitualmente denominado resinas de intercambio iónico, que es capaz de retener selectivamente sobre su superficie los iones disueltos en el agua, los mantiene temporalmente unidos a la superficie, y los cede frente a una disolución con un fuerte regenerante. La aplicación habitual de estos sistemas, por ejemplo, la eliminación de

sales cuando se encuentran en bajas concentraciones, siendo típica la aplicación para la desmineralización y el ablandamiento de aguas, así como la retención de ciertos productos químicos y la desmineralización de jarabes de azúcar (Ayala y Gonzales, 2008).

- **Adsorción.** -El proceso de adsorción consiste en la captación de sustancias solubles en la superficie de un sólido. Un parámetro fundamental en este caso será la superficie específica del sólido, dado que el compuesto soluble a eliminar se ha de concentrar en la superficie del mismo. Es considerado como un tratamiento de refinación, y por lo tanto al final de los sistemas de tratamientos más usuales, especialmente con posterioridad a un tratamiento biológico. El sólido universalmente utilizado en el tratamiento de aguas es el carbón activo, aunque recientemente se están desarrollando diversos materiales sólidos que mejoran, en ciertas aplicaciones, las propiedades del carbón activo (Valencia, 2013).
- **Desinfección.** -Según Rojas, (2011) la desinfección pretende la destrucción o inactivación de los microorganismos que puedan causar enfermedades, dado que el agua es uno de los principales medios por el que se transmiten. Los organismos causantes de enfermedades pueden ser bacterias, virus, protozoos entre otros. La desinfección se hace imprescindible para la protección de la salud pública, el objetivo puede ser no solo desactivar patógenos, sino cualquier otro organismo vivo, si lo que se pretende es reutilizar el agua. Para llevar a cabo la desinfección se pueden utilizar distintos tratamientos: tratamiento físico (calor, radiación), pero fundamentalmente se utilizan agentes oxidantes, entre los que cabe destacar el cloro y algunos de sus derivados, o bien procesos de oxidación avanzada (O_3 , fotocatalisis heterogénea).

- **Ventajas y desventajas de los tratamientos químicos**

Tabla 6. Ventajas y desventajas de los tratamientos químicos

<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
No generación de olores	Utilización de elementos electromecánicos
No proliferan vectores	Consumo energético
No existen períodos de funcionamiento	Utilización constante de agentes químicos
Rendimientos adecuados incluso con temperaturas muy bajas	Necesidad de terreno con desnivel
Eliminación de patógenos	Costos elevados
No grandes extensiones	Personal calificado

2.4.5 Tratamiento de lodos

Los lodos generados por las aguas residuales domesticas en los diferentes procesos de la planta de tratamiento se los debe tratar, con el objetivo de estabilizar, reducir el volumen, eliminar organismos patógenos y así conseguir una degradación controlada de sustancias orgánicas para su utilización posterior o disposición final (Ramos et al, 2013).

2.5 MARCO LEGAL

Según la Constitución de la República del Ecuador a nivel nacional las políticas encaminadas a la protección del ambiente establecidas en la constitución son:

En el Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, Sumak Kawsay. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

En el Art. 71.- La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos. Así mismo toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza.

En la Ley de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, según la Asamblea Nacional de la República del Ecuador, (2014) en el Art.80.- Queda prohibido el vertido directo o indirecto de aguas o productos residuales, aguas servidas, sin tratamiento y lixiviados susceptibles de contaminar las aguas del dominio hídrico público.

La Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental (2004) menciona, en el Art. 6.- Queda prohibido descargar, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, a las redes de alcantarillado, o en las quebradas, acequias, ríos, lagos naturales o artificiales, o en las aguas marítimas, así como infiltrar en terrenos, las aguas residuales que contengan contaminantes que sean nocivos a la salud humana, a la fauna, a la flora y a las propiedades. Además, sustenta en el Art. 9.- Los Ministerios de Salud y del Ambiente, en sus respectivas áreas de competencia, también, están facultados para supervisar la construcción de las plantas de tratamiento de aguas residuales, así como de su operación y mantenimiento, con el propósito de lograr los objetivos de esta Ley.

El Acuerdo Ministerial N° 097 –A establece que las aguas residuales que no cumplan con los parámetros de límites máximos permisibles de descarga a un cuerpo de agua dulce establecidos en esta Norma, deberán ser tratados adecuadamente, sea cual fuere su origen: público o privado. Los sistemas de tratamiento deben contar con un plan de contingencias frente a cualquier situación que afecte su eficiencia (MAE, 2015).

3. METODOLOGÍA

3.1 Área de estudio

La presente investigación se realizó en la UNL que se ubica en la provincia de Loja, cantón Loja, parroquia Punzará. La UNL está ubicada en la parte sur de la ciudad de Loja en las coordenadas: 699414.14 y 9553870.16 a una altitud de 2135 msnm y a una distancia aproximada de 4 km del centro de la ciudad.

- Mapa de ubicación de la zona de estudio

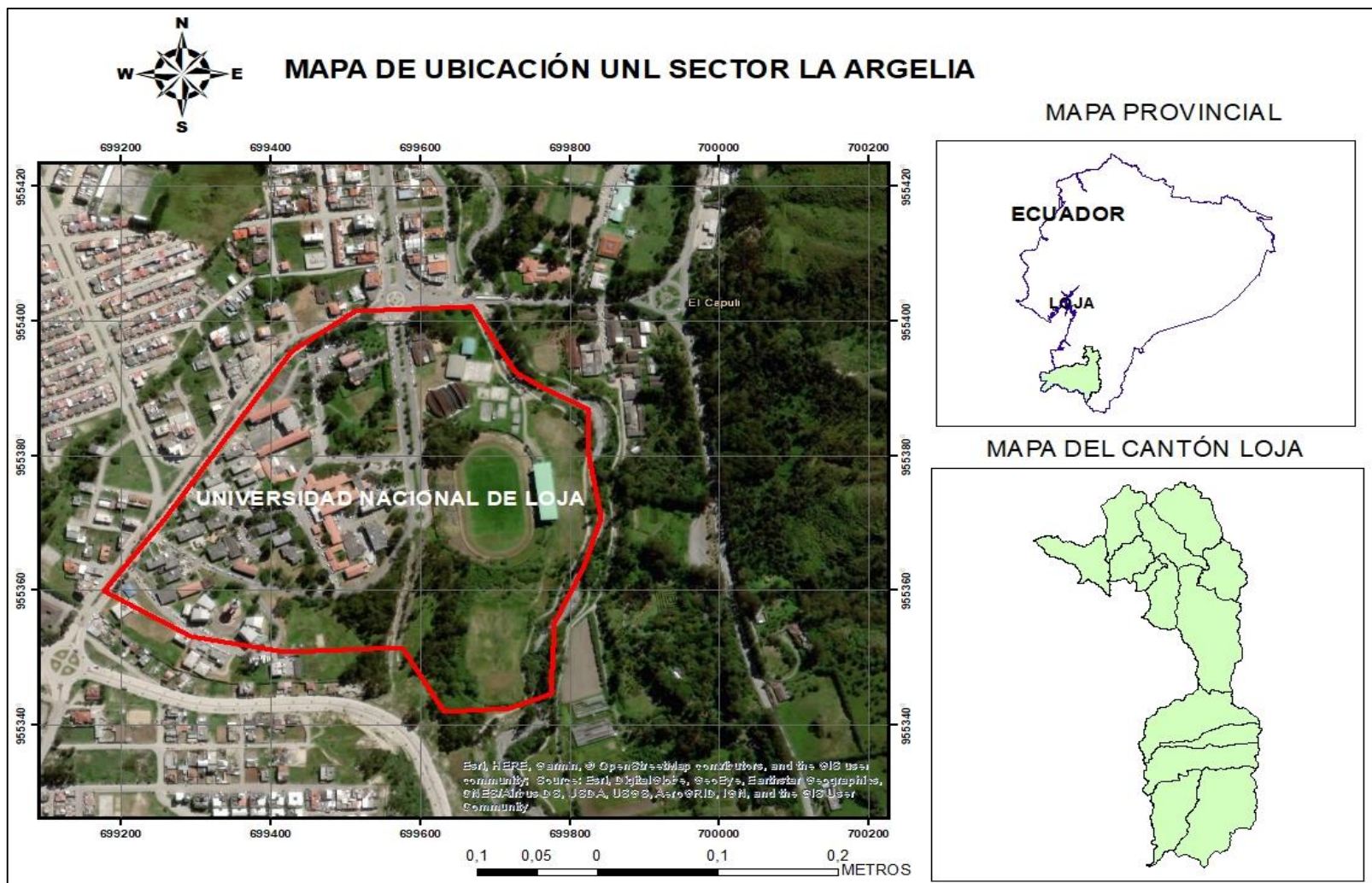


Figura 2. Mapa de ubicación de la zona de estudio.

3.2 METODOLOGÍA PARA EL PRIMER OBJETIVO DETERMINAR LA CALIDAD ACTUAL DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMPUS UNIVERSITARIO

En la presente investigación, el muestreo y medición de caudales, se realizó en el colector común de la ciudadela universitaria, mismo que se encuentra ubicado en el lado sur oriental de la ciudadela (al margen del coliseo universitario), constituyéndose geográficamente en el punto más bajo con una altitud de 2130 msnm.

3.2.1 Toma de muestra

Se determinó mediante los planos de alcantarillado del campus universitario el punto principal donde convergen todas las tuberías secundarias a la descarga principal, el cual fue obtenido del Departamento de Infraestructura Física de la UNL. Se recolectaron 2 muestras simples de agua en el punto, con el fin de obtener datos que nos permitan tener una referencia sobre las aguas a ser tratadas y tomar mejores decisiones para realizar el diseño, la primera fue el 7 de enero del 2019 a las 10h30 am, la segunda el 8 de enero del mismo año a las 15h30 pm. En vista de factores económicos, se tomó la decisión de trabajar con dos muestras, la cual nos permite establecer una caracterización del agua residual del campus universitario. Las mismas que fueron recolectadas en envases de polietileno (estos fueron esterilizados antes de ser usados) con un volumen de 1000 ml.

3.2.2 Etiquetado de las muestras

Luego de tomar cada una de las muestras se colocó su respectiva etiqueta, conteniendo la siguiente información: fecha, hora, lugar, número de muestra, observaciones del muestreador.

3.2.3 Transporte de la muestra

Se transportó las muestras con cuidado, prestando atención que no se caigan o derramen, transportándolas en un equipo de refrigeración para precautelar las condiciones oscuridad y temperatura. Y finalmente fueron llevadas al Laboratorio de Análisis Químico (LAQ-UNL) para ser analizados sus diferentes parámetros.

3.2.4 Medición del caudal

La medición del caudal de la descarga fue en el mismo punto de la toma de muestra y se realizaron 5 repeticiones:

- N°1 11h00 am
- N°2 11h30 am
- N°3 15h30 pm
- N°4 16h00 pm
- N°5 16h30 pm

Las repeticiones fueron con un intervalo de 30 minutos cada una, con base en los horarios donde los bares y restaurantes utilizan mayor consumo de agua, tanto para preparar los alimentos como para lavar los implementos utilizados para la misma, se aplicó el método del molinete para obtener datos precisos y exactos lo cual consistió en:

- Se definió una sección estable y de fácil acceso a la descarga principal, en donde se realizó la limpieza de una sección de la tubería para poder introducir el molinete y poder realizar las mediciones de la velocidad del cauce.
- Posteriormente se determinó el diámetro de la tubería, haciendo mediciones de la circunferencia, para poder determinar los resultados que nos piden las diferentes ecuaciones.
- El dispositivo esta calibrado para dar 20 revoluciones por minuto, es decir sonara cuando se complete las vueltas mencionadas anteriormente procediendo a tomar el tiempo en donde se realizarán los cálculos de oficina.

Seguidamente se calculó la velocidad del cauce con la ecuación que trae consigo el equipo y como lo señala Bernis (2010).

Cuando $3.328 < n < 7.084$

[Ec. 1]

Dónde:

- V = velocidad del agua en m/s
- Constantes = 0.007, 0.3345, -0.013, 0.3403
- n = número de revoluciones por segundo

Con los datos obtenidos de (n) se determinó que para el cálculo de la velocidad del cauce se realice con 3.328 y 7.084.

Posteriormente se determinó el caudal, tal como como lo señala Chow (1948).

$$Q = (A * V) \quad [\text{Ec. 2}]$$

Dónde:

- Q = Caudal en m^3/s
- A = Área m^2
- V = Velocidad en m/s

Para el cálculo del área de la tubería se determinó con la siguiente ecuación como lo señala Sotelo (1999).

$$A = (\pi * r^2 / 4) \quad [\text{Ec. 3}]$$

Dónde:

- A = Área en m^2
- π = 3.1416
- r = radio

3.2.5 Parámetros analizados en el laboratorio

Se trabajó con el método analítico que sirve para la caracterización del agua residual, en este método se emplean los analices cuantitativos para la determinación precisa de la composición química del agua residual y el análisis cualitativo para el conocimiento de las

características físicas y biológicas. Los métodos cuantitativos usados fueron los gravimétricos, volumétricos y físico-químicos.

Una vez recolectadas y acondicionadas las muestras se procedió a analizar en Laboratorio de Análisis Químico (LAQ-UNL), siguiendo los métodos estandarizados de cada uno de los equipos del laboratorio.

Se analizaron los siguientes parámetros:

a) PARÁMETROS BIOLÓGICOS

- **Coliformes totales y fecales.** -Se realizó con el método estándar, para coliformes totales 9222 B y para coliformes fecales 9222-D. Se filtra un volumen 100 ml de muestra a través de un filtro de membrana con poros de 0.45 micrones para retener las bacterias. El filtro se coloca en una almohadilla absorbente de la caja petri saturada con un medio de cultivo selectivo para el crecimiento del coliforme. La caja petri que contiene el filtro y la almohadilla se incuba en posición invertida durante 24 horas a una temperatura de 45 °C. Después de la incubación, las colonias que se han formado se identifican y recuentan utilizando un microscopio electrónico de poco aumento. Se sigue los mismos pasos para los coliforme fecales.

b) PARÁMETROS FÍSICOS

- **Color.** -Se realizó con el método estándar, 2120 C. Se dispersó alrededor de 50 ml de la muestra a través del filtro. Llenar una segunda celda de muestra preparada con 25 ml de la muestra filtrada. Ubicar el blanco en el soporte de la celda y se cierra el escudo para la luz se presiona READ, la pantalla muestra leyendo y luego se visualiza el resultado en unidades de platino-cobalto.
- **Conductividad eléctrica.** - Se realizó con el método estándar, 2510 B. Se diluyo la muestra a 100 ml para que entre en la escala del equipo. - Se introduce la célula de conductividad en la muestra y se espera hasta que la lectura se estabilice (pocos segundos) y luego, se visualiza el resultado.
- **Turbidez.** - Se realizó con el método estándar, 2130 B. En este procedimiento se calibró el turbidímetro hasta la suspensión estándar de 1.750 NTU. Se deja que las muestras lleguen a temperatura ambiente. En una celda perfectamente limpia, se adiciona la muestra en la celda de tal manera que no forme burbujas y se tapa. Se

coloca la celda con la muestra en la porta celdas se esperar la respuesta después de 6 segundos y se registra el dato en NTU.

c) **PARÁMETROS QUÍMICOS**

- **Aluminio, Calcio, Magnesio.** -Se realizó con el método estándar, para aluminio 3111 D, calcio 3500Ca D, magnesio 3500 Mg-B, en el espectrofotómetro UV visible WTW. Se insertó una pipeta esterilizada en el cartucho de titulación. Se ajusta el cartucho al cuerpo del titulador se gira la perilla de descarga para expulsar algunas gotas al titulado se reinicia el contador a cero y se limpia la punta. Se utiliza una probeta para medir el volumen de la muestra al frasco de Erlenmeyer limpio de 250 ml. Se diluye aproximadamente hasta la marca de 100 ml agua desionizada. Se Agrega 2 ml de 8Alumver de solución patrón de hidróxido de potasio y se gira para mezclar. Se coloca la punta del tubo de alimentación dentro de la solución y girar el frasco mientras se titula y leer, lavar los materiales con agua destilada y seguir los mismos pasos con calcio y magnesio.
- **Hierro.** -Se realizó con el método estándar, 3500 FeB. Se insertó el elevador de celda de muestra de 10 ml. Se llena una celda limpia con 10 ml de la muestra. Se agrega los contenidos de una bolsa de polvo del reactivo de Ferro a las celdas de muestra preparada. Se gira para mezclar y se presiona: Shift Timer y comenzará un período de reacción que se prolongará tres minutos. Cuando suene el timbre del cronómetro, en la pantalla se leerá: mg/L Fe FV.
- **Nitratos.** -Se realizó con el método estándar, 4500 NO3 E. Se llenó una celda con 25 ml de muestra. Se agrega el contenido de una bolsa de polvo de reactivo de NitraVer5 a la celda de muestra preparada y tapamos. Se presiona Shift Timer y cuando suene el cronómetro, la pantalla mostrará: mg/L NO3 N HR.
- **Nitritos.** -Se realizó con el método estándar, 4500 NO2 B. Se insertó el elevador para celdas de 10 ml en el compartimento. Se llena una celda de muestra de 10 ml, agregamos el contenido de una bolsa de polvo de reactivo NitriVer3. Se presiona Shift Timer comenzará un período de reacción de 20 minutos. Cuando suene el timbre del cronómetro, en la pantalla se leerá mg/L NO2 N LR.
- **Nitrógeno amoniacal.** -Se realizó con el método estándar, 8038. Se llena de 25 ml de muestra preparada hasta la marca y se llena otra probeta para mezclar 25 ml con agua

desionizada. Se agrega 3 gotas de estabilizador mineral a cada cilindro se debe invertir varias veces para mezclar. Se coloca 1,0 ml del reactivo Nessler en cada cilindro y se invierte varias veces para mezclar. Se presiona Shift Timer y comenzará un período de

- **Demanda biológica de oxígeno (DBO₅).** -Se realizó con el método estándar, 5210 B. Se prepara el agua para diluir la muestra utilizando una bolsa de solución tampón de nutriente de DBO₅. Se mide con una pipeta serológica una serie graduada de seis porciones de muestra bien mezclada y se la transfiere a botellas separadas de DBO₅ de 300 ml y con tapón de vidrio. Se agita la muestra con la pipeta antes de colocar con la pipeta cada porción. Se agrega 0.16 g de inhibidor de nitrificación a cada botella. Se llena cada botella exactamente hasta el pico con agua de dilución al agregar el agua, dejamos que la misma caiga lentamente por los lados de la botella para evitar la formación de burbujas. Tapamos la botella cuidando de no atrapar ninguna burbuja de aire y se agrega al pico de la botella DBO₅ agua de dilución suficiente para formar un sello de agua. Se coloca una tapa de plástico en el pico de cada botella. Se coloca las botellas en una incubadora a 21 °C. Se incuba en la oscuridad durante cinco días cuando se haya completado el período de incubación, determinar el contenido de oxígeno disuelto (mg/L de OD restante) en cada botella, utilizando la sonda de oxígeno disuelto.
- **Demanda química de oxígeno (DQO).** -Se realizó con el método estándar, 5520 B. Se homogeneiza 100 ml de muestra durante 30 segundos en la mezcladora. Se conecta el reactor de DQO se precalienta a 150 °C. Se coloca el escudo plástico enfrente del reactor y se extrae la tapa del tubo de reactivo para digestión de DQO para el rango apropiado. Se sostiene el tubo en un ángulo de 45 grados. Colocar c 2.00 ml (0.2 ml para el rango 0 a 15000 mg/L) de muestra en el frasco. Volver a colocar la tapa del tubo bien ajustada se enjuaga la parte exterior del tubo de DQO con agua desionizada y se lo seca con una toalla de papel. Se Sostiene el tubo por la tapa y se coloca sobre una tina y se invierte suavemente varias veces para mezclar los contenidos. Se coloca el tubo en el reactor DQO precalentado. Se prepara un blanco sustituyendo 2.00 ml (0.2 ml para el rango 0 a 15000 mg/L) de agua desionizada por

la muestra. Se calienta los tubos durante 2 horas se esperar aproximadamente 20 minutos hasta que los tubos se enfríen a 120 °C. Se invierte cada tubo varias veces mientras están aún calientes se los coloca en un estante y esperamos hasta que hayan alcanzado temperatura ambiente. Se utilizó la técnica analítica para medir la DQO del método colorimétrico, 150 mg/L DQO. Llevamos la muestra al espectrofotómetro UV. Se limpia la parte exterior del blanco con una toalla. Se presionar read y luego aparecerá el resultado en mg/L de DQO.

- **Sulfuros y sulfatos.** -Se realizó con el método estándar, 4500 SO₄ E. Se llenó una celda de muestra limpia con 25 ml de muestra. Se agrega los contenidos de una bolsa de polvo de reactivo de sulfato SulfaVer4 en la celda de la muestra preparada. Se gira para disolver y se presiona Shift Timer y se iniciará un período de reacción de 5 minutos. Cuando suene el cronómetro, en la pantalla se podrá leer en mg/L SO₄ 2-.
- **Sólidos disueltos totales.** -Se realizó con el método estándar, 2540 C, con el conductímetro. Se lava la capsula de porcelana previamente y se la calcina en la mufla a 550 °C durante 15 minutos. Se apaga la mufla y abrimos levemente. Se espera hasta que llegue a una temperatura de 150 °C (1 hora y 20 minutos aproximadamente) para después ser puesta en el horno a 105 °C por 15 minutos. Luego transferirla al desecador para que se enfríe a temperatura ambiente. Para la preparación de sólidos suspendidos se coloca una membrana filtrante en el sistema de filtración. Se realiza 3 lavados a la membrana con el sistema de filtración utilizando 20 ml de agua destilada para cada lavado y se coloca la membrana en la capsula de porcelana y se calcina en la mufla por 15 minutos, luego transferirla al desecador para que se enfríe a temperatura ambiente. Se determina la masa M1 en gramos en la balanza analítica. Se transfiere un volumen de la muestra V1 (en mililitros). Secamos la muestra en el horno a 103 °C -105 °C con tiempo suficiente para lograr una masa constante (24 horas) y se determina la masa después de enfriar en el desecador M2 y la cantidad se la obtiene luego de un balance de masa.
- **Potencial de Hidrogeno (pH).** -Se realizó con el método estándar, 4500 pH B. Se calibra el electrodo con disoluciones patrón (tampones) de pH conocido. Se coloca la muestra, en la que se ha introducido una varilla agitadora teflonada (imán), en un

agitador magnético y se procede a leer el valor del pH cuando la lectura se estabilice en el peachimetro.

3.3 METODOLOGÍA PARA EL SEGUNDO OBJETIVO ANALIZAR DISTINTAS ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMPUS UNIVERSITARIO

Para analizar las distintas alternativas de tratamiento se procedió a recolectar información en tesis, revistas científicas, libros, como medio comparativo con los datos de la caracterización del agua residual del Campus Universitario determinándose:

Tratamientos físicos.- Se los emplea en todo proceso depurativo los cuales deben ir para resguardar los demás procesos y equipos.

Tratamientos químicos.- Estos tratamientos son descartados por el costo que representan tanto de implementación y mantenimiento.

Tratamientos biológicos.- De acuerdo a las características del agua residual de la UNL se pueden implementar estos tratamientos, para la cual se realizó una matriz de calificación. La elección de la alternativa más adecuada se analizó en base a los parámetros más influyentes en la implementación-construcción, mantenimiento del sistema y eficacia. Los tratamientos se puntúan del 1 al 10 para cada aspecto. Cada uno de estos parámetros será ponderado del 1 al 10 según su importancia, siendo el 10 el de mayor importancia porque propicia un mayor beneficio en el desarrollo de la propuesta y el 1 el de menor. Los tratamientos con mayor puntuación serán los más recomendados para este caso. El color verde representa a muy alto, verde claro representa a alto, amarillo representa a moderado, naranja representa a bajo, rojo representa a muy bajo como se puede observar en la siguiente Tabla 7

Tabla 7. Matriz de calificación para el tratamiento biológico

	TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS
--	--------------------------------

PARÁMETROS	MUY BAJO	BAJO	MODERADO	ALTO	MUY ALTO
-------------------	-----------------	-------------	-----------------	-------------	-----------------

3.4 METODOLOGÍA PARA EL TERCER OBJETIVO DEFINIR EL TRATAMIENTO ÓPTIMO PARA LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMPUS UNIVERSITARIO

En función de los caudales determinados y las características del agua residual obtenidas, además de la evaluación de los métodos (físicos, biológicos) y bajo el criterio de costo-beneficio se definió el siguiente tratamiento:

3.4.1 Diseño del tratamiento

A la hora de diseñar un sistema de depuración lo primero que hay que establecer es el caudal y la carga contaminante que entran al mismo. Para ello, hay que conocer la población de la zona donde se va a instalar el sistema y la posible tasa de crecimiento que se va a producir en los 20 años siguientes, ya que este sistema se va a diseñar con proyección al año 2039. Tener esta tasa de crecimiento es importante ya que si no el sistema podría quedarse obsoleto por no cubrir las necesidades de la población.

3.4.1.1 Estimación de la población del campus

Para obtener la población que habrá en el año 2039 se revisó en la información estadística de alumnos, personal docente, administrativo y de servicio, proporcionada por la Jefatura de Recursos Humanos y Escalafón para el periodo septiembre 2018 - marzo 2019, que estableció lo siguiente:

- Población actual estudiantil: 11546 estudiantes.
- Población actual administrativa y de servicio: 954 personas.
- Población actual total: 12496 personas.

Facultad de Salud Humana

- Población actual estudiantil: 2700 estudiantes
- Población actual administrativa y de servicio: 115
- Población actual total: 2815

Población total involucrada en el diseño, es la población total actual menos la población total actual de la Facultad de Salud Humana que no está incluida en el diseño y nos da como resultado 9681 personas.



Figura 3. Mapa de la zona poblacional Universitaria.

En la Tabla 8 se, indica la distribución de la población Universitaria.

Tabla 8. Comparación del área y la población estudiantil de acuerdo a las zonas

ZONA	ÁREA (Ha)	DENSIDAD (Hab/Ha)
------	-----------	-------------------

Zona Baja	14.42	872
Zona Alta	10.43	860
TOTAL	24.84	866

Fuente: Información tomada de Aguilar, 2010.

Zona Baja: comprende el área de la UNL al Oeste de la Av. Pio Jaramillo

Zona Alta: comprende el área de la UNL al Este de la Av. Pio Jaramillo

Para determinar la población de diseño para la propuesta, se basó en los planes de desarrollo físico con los que cuenta el Departamento de Planificación de la UNL, así mismo se consideró como población flotante el 15 % de la población denominada eventual.

Para el presente estudio se considera una población futura de 21520 habitantes. Esta población distribuida en el área que se implanta el sistema da como resultado una densidad poblacional de 866 habitantes por hectárea.

La población adoptada para el diseño será de 21520 habitantes. Está población es ideal para el empleo de tratamientos biológicos, los cuales son óptimos para poblaciones inferiores a 25000 habitantes. Sin embargo, el clima de la zona, la disponibilidad de espacio, hacen que este tipo de tratamientos sean los más recomendados para el diseño.

3.4.1.2 Caudales de diseño

Para proceder al cálculo de los caudales que van a entrar en al diseño de depuración, es necesario, en primer lugar, conocer los datos de consumo por habitante y día. Para este caso se tomará un valor de 50 litros/persona/día.

Con este dato y el de la población futura, se procede a calcular el caudal de diseño de entrada a la planta de tratamiento de acuerdo a lo que señala Sotelo (1999).

$$Q_{dis\tilde{n}} \left(\frac{m^3}{d} \right) = consumo \left(\frac{m^3}{hab \cdot d} \right) * habitantes \quad [Ec. 4]$$

$$Q_{dis\tilde{n}} = \frac{50 \left(\frac{m^3}{\frac{hab}{d}} \right)}{1000} * 21520 \text{ hab}$$

$$Q_{dis\tilde{n}} = 1076 \text{ m}^3/d$$

Dónde

- Q_{dis} = Caudal de diseño
- m^3 = metros cúbicos
- d = día de consumo
- hab = Habitantes

Los procesos de pretratamiento se dimensionarán para caudal máximo, el cual toma en consideración las aguas pluviales. Este caudal se puede obtener multiplicando el caudal medio por 3 de acuerdo a lo que señala Sotelo (1999).

$$Q_{max} \left(\frac{m^3}{d} \right) = 3 * Q_{dis\tilde{n}} \left(\frac{m^3}{d} \right) \quad [Ec. 5]$$

$$Q_{max} = 3 * 1076 \frac{m^3}{d}$$

$$Q_{max} = 3228 \text{ m}^3/d$$

Dónde

- $Q_{dis\tilde{n}}$ = Caudal de diseño
- Q_{max} = Caudal máximo

Por otro lado, para la puesta en marcha y su posterior operación se tendrá en cuenta el caudal punta. Este valor se calcula de acuerdo a lo que señala Sotelo (1999).

$$Q_p = Q_{dis} \left(1 + \frac{14}{4 + \text{poblacion}^{(0.5)}} \right) \quad [Ec. 6]$$

$$Q_p = 3228 \text{ m}^3/\text{d} \left(1 + \frac{14}{4+21520^{(0.5)}}\right)$$

$$Q_p = 3536.07 \text{ m}^3/\text{d}$$

Dónde

- Q_p = Caudal punta
- Q_{dis} = Caudal de diseño

A continuación, en la Tabla 9 se muestran los distintos caudales empleados para el dimensionamiento del sistema depurador:

Tabla 9. Caudales de tratamiento de las aguas residuales

Caudal del agua residual	
Caudales	Unidades
Caudal de diseño	$1076 \text{ m}^3/\text{d}$
Caudal máximo	$3228 \text{ m}^3/\text{d}$
Caudal punta	$3536.07 \text{ m}^3/\text{d}$

3.4.1.3 Carga del contaminante

Al tratarse de aguas residuales urbanas de una población flotante donde las actividades se las realiza desde las 7.30 am hasta las 21.00 pm, se tendrán en cuenta los parámetros: Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5), la Demanda Química de Oxígeno (DQO), los sólidos en suspensión (SS) y los coliformes fecales y totales.

A continuación, en la Tabla 10 se presentan los parámetros de la carga del contaminante que entrada al sistema:

Tabla 10. Parámetros de diseño de las aguas residuales del Campus Universitario

Parámetro	Muestra 1-ARCUNL	Muestra 2-ARCUNL	Promedio	Límite máximo permisible TULSMA
DQO	255	249	252,00	160-250 mg/L
DBO ₅	273	291	282.00	100 mg/L
Sólidos suspendidos totales	138.7	136.5	137.60	100 mg/L
Coliformes totales	800000	200000	500000.00	<10 ⁴ UFC/100mL
Coliformes fecales	280000	260000	270000.00	Remoción > al 99,9 % UFC/100mL

3.4.1.4 Diagrama de bloques del diseño del agua residual de la UNL

Tras analizar las distintas alternativas y seleccionar la tecnología que se utilizará para el sistema depurador, se procedió a establecer todos los tratamientos que se colocaran en línea en función de las características de entrada del agua residual. De esta forma, el diagrama de bloques se muestra (Figura 4).

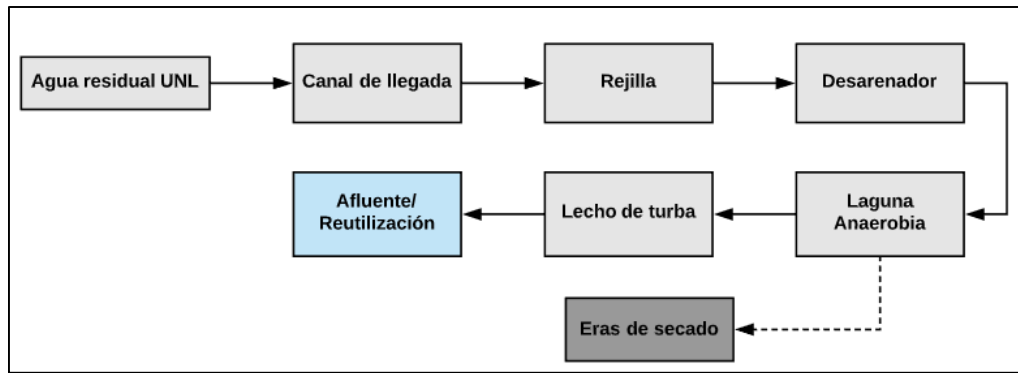


Figura 4. Diagrama de bloques del diseño del agua residual UNL

- **Radio Hidráulico (RH).** -Es el cociente entre el área de la sección mojada y el perímetro mojado de un canal se emplea en el cálculo de pérdidas de carga de acuerdo a lo que señala Manning (1989).

$$Rh = \frac{\emptyset}{4} * \frac{1m}{1000mm} \quad [Ec. 7]$$

$$Rh = \frac{284mm}{4} * \frac{1m}{1000mm}$$

$$Rh = 0.071m$$

Dónde:

- \emptyset = Diámetro (mm)
- **Pendiente (S).** - La pendiente del sistema se emplea en el cálculo la fórmula propuesta por Gonzáles y Cueva (2012).

$$S = \frac{\Delta H}{L} * 100 \quad [Ec. 8]$$

$$S = \frac{(2135 - 2131)m}{2260m} * 100 \%$$

$$S = 0.18 \%$$

Dónde:

- ΔH = Diferencia de alturas (m)

- L = Longitud (m)
- **Velocidad (V).** -La velocidad en las tuberías del sistema se emplea en el cálculo la fórmula propuesta por Manning (1989).

$$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} \quad [Ec. 9]$$

$$V = \frac{1}{0.015} * 0.071m^{\frac{2}{3}} * \left(\frac{0.18\%}{100\%}\right)^{1/2}$$

$$V = 0.49 \text{ m/s}$$

Dónde:

- n = Coeficiente de rugosidad (adimensional)
- R = Radio hidráulico (m)
- S = Pendiente (m/m)

3.4.1.5 Dimensionamiento del canal de llegada

A continuación, se detalla los cálculos de diseño de la planta de tratamiento para las aguas residuales provenientes del campus universitario.

- **Coeficiente de Manning.** - Se emplea en el cálculo la fórmula propuesta por Manning (1989).

$$k = \frac{Q * n}{\frac{8}{b^3} * \frac{1}{S^2}} \quad [Ec. 10]$$

- Caudal Diseño:

$$k = \frac{1.076 \frac{m^3}{s} * 0.015}{(0.8m)^{\frac{8}{3}} * 0.15^{1/2}}$$

$$k = 0.076 \text{ m}$$

- Caudal máximo:

$$k = \frac{3.228 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 0.015}{(0.8\text{m})^{8/3} * 0.15^{1/2}}$$

$$k = 0.23 \text{ m}$$

Dónde:

- n= Coeficiente de rugosidad (adimensional)
- b= ancho (m)
- S =Pendiente (m/m)
- **Altura de agua en el canal.** - Se emplea en el cálculo la fórmula propuesta por Garrido (2018).

$$h = 1.6624 * k^{0.74232} * b \quad [Ec. 11]$$

- Caudal Diseño:

$$h = 1.6624 * 0.076\text{m}^{0.74232} * 0.8\text{m}$$

$$h = 0.1963\text{m}$$

- Caudal máximo:

$$h = 1.6624 * 0.23 \text{ m}^{0.74232} * 0.8\text{m}$$

$$h = 0.4467\text{m}$$

Dónde:

- K = Coeficiente de Manning (adimensional)
- b = Ancho m
- **Radio hidráulico.** - Se emplea en el cálculo la fórmula propuesta por Manning (1989).

$$Rh = \frac{b * h}{b + 2h} \quad [Ec. 12]$$

- Caudal Diseño:

$$Rh = \frac{0.8m * 0.1963m}{0.8m + 2(0.1963m)}$$

$$Rh = 0.01316 \text{ m}$$

- Caudal máximo:

$$Rh = \frac{0.8m * 0.4467m}{0.8m + 2(0.4467m)}$$

$$Rh = 0.02110 \text{ m}$$

- **Velocidad.** - Se emplea en el cálculo la fórmula propuesta por Manning (1989).

$$V = \frac{1}{n} * Rh^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} \quad [Ec. 13]$$

- Caudal Diseño:

$$V = \frac{1}{0.015} * (0.01316 \text{ m})^{2/3} * (0.18)^{1/2}$$

$$V = 1.58 \text{ m/s}$$

- Caudal máximo:

$$V = \frac{1}{0.015} * (0.02110 \text{ m})^{2/3} * (0.18)^{1/2}$$

$$V = 2.16 \text{ m/s}$$

3.4.1.6 Diseño de rejillas

En la mayoría de los diseños de tratamientos de aguas residuales las rejillas más utilizadas son las de limpieza manual. A continuación, se detalla el dimensionamiento de rejillas de limpieza manual.

- **Área libre al paso del agua (al):** Indica el flujo presente en el canal. Se recomienda que este flujo tenga una velocidad no menor a 2,5 m/s ya que así se procura detener

los materiales bastos permitiendo el paso de las partículas pequeñas a través de las barras. El área libre al paso del agua se emplea en el cálculo la fórmula propuesta por Ramos (2009).

$$Al = \frac{Q}{Vb} \quad [Ec. 14]$$

$$Al = \frac{1.076 \frac{m^3}{s}}{0.6 \frac{m}{s}}$$

$$Al = 1.80 m^2$$

Dónde:

- Q = caudal de diseño (m³/s)
- Vb = velocidad mínima a través de las barras (m/s)
- **Longitud del canal (L).** -Se calcula con la fórmula del área despejando la altura propuesta por Ramos (2009).

$$l = \frac{Al}{b} \quad [Ec. 15]$$

$$l = \frac{1.80 m^2}{1.20m}$$

$$l = 1.05m$$

Dónde:

- Al= Área libre al agua
- b = Ancho del canal de llegada (m)
- **Altura total del canal (h).** -Es la sumatoria de la altura de agua en el canal y una altura de seguridad se calcula con la fórmula propuesta por Ramos (2009).

$$h = l + Hs \quad [Ec. 16]$$

$$h = 1.05m + 0,6 m$$

$$h = 1.65m$$

Dónde:

- L= Longitud
- Hs = Altura de seguridad (m)
- **Longitud de las barras (Lb).** -La longitud de las barras no debe exceder de la que permita su limpieza conveniente por el operador se calcula con la fórmula propuesta por Ramos (2009).

$$Lb = \frac{H}{\text{Sin}\alpha} \quad [Ec. 17]$$

$$Lb = \frac{0.9 m}{\text{Sin } 50^\circ}$$

$$Lb = 1.27m$$

Dónde:

- α = Ángulo de inclinación de las rejillas con respecto a la horizontal del canal, se recomienda un ángulo de inclinación de las barras entre 44° y 60° con respecto a la horizontal
- **Número de barras (n).** -El número de barras está a consideración del ingeniero que las diseña; sin embargo, por cuestiones de mantenimiento es recomendable instalar de 2 a más barras se calcula con la fórmula propuesta por Ramos (2009).

$$n = \left(\frac{b}{e + S} \right) - 1 \quad [Ec. 18]$$

$$n = \left(\frac{1.20m}{0.025 + 0.01m} \right) - 1$$

$$n = 33$$

Dónde:








- e = separación entre barras (m)
- S = Espesor máximo de las barras (m) se recomienda valores entre 25 mm y 50 mm para el espaciamiento entre barras.
- **Pérdida de carga en las rejillas (hf).** -Conocida también como pérdida de energía, es la diferencia de alturas antes y después de las rejillas, dada en metros. En ningún caso se permite una pérdida de energía mayor a 75 cm (0,75 m). El cálculo de la pérdida de carga para una rejilla limpia se calcula con la fórmula propuesta por Kirschmer (1926).

$$hf = \beta \left(\frac{S}{e} \right)^4 * \frac{v^2}{2g} \text{Sin} \alpha \quad [Ec. 19]$$

$$hf = 2.42 \left(\frac{0.01m}{0.025m} \right)^4 * \frac{(1.58m/s)^2}{2 * 9.8m/s^2} \text{Sin} 50^\circ$$

$$hf = 0.6423 \text{ m}$$

Tabla 11. Coeficiente de pérdida para las rejillas

SECCIÓN TRASVERSAL							
Forma	A	B	C	D	E	F	G
	2,42	1,83	1,67	1,035	0,92	0,76	1,79
B							

Fuente: Información tomada de Rojas, (2008).

3.4.1.7 Desarenador

El tipo de desarenador elegido es un canal de flujo horizontal con longitud suficiente para que tenga lugar la sedimentación de las arenas. La ventaja de estos equipos está en que no necesitan energía eléctrica para la extracción de las arenas. La superficie transversal del desarenador se obtendrá a partir de la velocidad máxima recomendada, 1,8 m/s. El caudal de diseño será el más limitante, se calcula con la fórmula propuesta por Castro y Aguirre (2012).

$$\text{superficie}(m^2) = \frac{\text{caudal } m^3/s}{\text{velocidad } (m/s)} \quad [Ec. 20]$$

$$(m^2) = \frac{1.076 m^3/s}{1.58 m/s}$$

$$(m^2) = 0.68 m^2$$

Una vez conocida la superficie se podrá dimensionar el canal. Por razones constructivas, se adoptan medidas redondeadas, se calcula con la fórmula propuesta por Castro y Aguirre (2012).

$$\text{superficie}(m^2) = \text{Ancho}(m) * \text{Altura}(m) \quad [Ec. 21]$$

$$\text{Ancho}(m) = 1.20 m$$

$$\text{Altura}(m) = 1.65 m$$

$$\text{Superficie adoptada} = 0.68 m^2$$

$$\text{Velocidad adoptada} = 1.58 m/s$$

La longitud del desarenador se calcula en función del tiempo que tarden las partículas en sedimentar. De forma estándar, asumiendo partículas esféricas de 2,65 g/mL de densidad y condiciones típicas del agua, la velocidad de sedimentación en función del tamaño de partícula. Por lo que su velocidad de sedimentación en el caso más desfavorable será de 65

m/h. A partir de esta velocidad y de la altura del equipo, se obtiene el tiempo necesario para la decantación, se calcula con la fórmula propuesta por Castro y Aguirre (2012).

$$\text{Tiempo decantación } (h) = \frac{\text{altura}(m)}{\text{velocidad deca}(\frac{m}{h})} \quad [\text{Ec. 22}]$$

$$(h) = \frac{0.5(m)}{65(\frac{m}{h})}$$

$$(h) = 0.0077 = 0.33s$$

La longitud del equipo se obtiene de forma que las partículas tengan tiempo para decantar. Esta longitud se modifica con un coeficiente de mayoración entre 1.25 – 1.5 para compensar los efectos de las turbulencias, se calcula con la fórmula propuesta por Castro y Aguirre (2012).

$$L(m) = C * T(s) * V\left(\frac{m}{s}\right) \quad [\text{Ec. 23}]$$

$$L(m) = 1.25m * 9.8(s) * 1.58 m/s$$

$$L(m) = 19 m$$

Dónde:

- L= longitud
- C= coeficiente de mayoración
- T= tiempo que tarda una partícula en caer
- V= velocidad longitudinal de las partículas

3.4.1.8 Lagunas anaerobias

Para el diseño de las lagunas anaerobias, los parámetros más adecuados son la carga volumétrica y el tiempo de retención ya que en este proceso, no existen procesos de superficie, como reaireación o fotosíntesis, que sin embargo van a desempeñar un papel fundamental en los siguientes procesos.

En la siguiente, Tabla 12 se muestran los valores que se han seleccionado para los diferentes parámetros.

Tabla 12. Valores seleccionados para el diseño de las lagunas anaerobias

Parámetro	Valores seleccionados
Tiempo de retención	3 días
Carga volumétrica	180 $gDBO_5/d/m^3$
Profundidad	4 m
DBO5	253.8 mg/L
Caudal diseño	1076 m^3/d

Inicialmente se tiene una DBO5 de 253.8mg/L, que son 1000504.8 Kg DBO5/día, con la carga y la carga volumétrica se calcula el volumen con la fórmula propuesta por Menéndez y Díaz (2006).

$$V(m^3) = \frac{\text{Carga biodegradable} \left(\frac{gDBO_5}{d} \right)}{\text{Carga volumétrica} \left(\frac{gDBO_5}{d/m^3} \right)} \quad [Ec. 24]$$

$$V(m^3) = \frac{1000504.8 (gDBO_5/d/)}{180 (gDBO_5/d/m^3)}$$

$$V = 5558.36(m^3)$$

Se calcula el volumen por tiempo de retención multiplicándolo por el caudal medio de diseño, con la fórmula propuesta por Menéndez y Díaz (2006).

$$V(m^3) = Q \left(\frac{m^3}{d} \right) * T_r(d) \quad [Ec. 25]$$

$$V = 5558.36 m^3/d * 3 dias$$

$$V = 16675.08 m^3$$

Dónde:

- V= volumen
- Q= caudal diseño
- T_r = Tiempo de retención

Con este volumen se calcula la carga volumétrica para ver si cumple con los valores normales de diseño, con la fórmula propuesta por Menéndez y Díaz (2006).

$$\text{Carga volumétrica}(gDBO_5/d) = \frac{\text{Carga biodegradable}(gDBO_5/d)}{V(m^3)} \quad [Ec. 26]$$

$$\text{Carga volumétrica} = \frac{1000504.8 (gDBO_5/d/m^3)}{16675.08 m^3}$$

$$\text{Carga volumétrica} = 60 (gDBO_5/d/m^3) < 180 (gDBO_5/d/m^3)$$

Al ser inferior a $180 gDBO_5/d/m^3$, cumple y se puede adoptar el volumen calculado a partir del tiempo de retención.

La superficie de la lámina de agua se calcula a partir del ancho y largo fijados, en caso de obtenerse un volumen inferior al deseado, se ajustarán las dimensiones hasta que el volumen obtenido coincida con el de diseño, mediante fórmula propuesta por Menéndez y Díaz (2006).

$$A_2(m) = \text{Ancho } 25 m * \text{largo } 46.5 m \quad [Ec. 27]$$

$$A_2 = 11162.5m$$

El área del fondo de la laguna se obtiene a partir de las dimensiones en la lámina de agua, y de la inclinación de los taludes. La inclinación recomendada es de 60° . La longitud del talud se obtiene por estequiometria, con la fórmula propuesta por Menéndez y Díaz (2006).

$$Lt(m) = \frac{h(m)}{\sin 60^\circ} \quad [Ec. 28]$$

$$Lt(m) = \frac{3.7(m)}{\sin 60^\circ}$$

$$L_t = 4.6 \text{ m}$$

$$W_b (m) = 25 \text{ m} - 2(4.6 \text{ m} * \cos 60^\circ * \sin 45^\circ) = 21.5 \text{ m}$$

$$L_b (m) = 46.5 \text{ m} - 2(4.6 \text{ m} * \cos 60^\circ * \sin 45^\circ) = 43 \text{ m}$$

$$A_1 (m^2) = W_b (m) * L_b (m) = 924.5 m^2$$

Dónde:

- L_t = longitud del talud.
- W_b = ancho en el fondo de la laguna.
- L_b = largo en el fondo de la laguna.
- **Producción de fangos.** -Los sólidos en suspensión decantan en el fondo de la laguna junto con parte de la materia orgánica presente en el agua residual generando los fangos. La producción de fangos oscila los 40 l/habitante/año por tanto en las lagunas anaerobias, se calcula con la fórmula propuesta por Menéndez y Díaz (2006).

$$\text{Producción de fangos (l/año)} = 40 (\text{l/hab/año}) * 21520 \text{ habitantes} \quad [Ec. 29]$$

$$\text{Producción de fangos} = 860800 \text{ l/año}$$

$$\text{Producción de fangos} = 860.8 m^3/\text{año}$$

Dado que hay tres lagunas, la producción por laguna es de $286.93 \text{ m}^3/\text{año}$ de fangos la retirada de los fangos se realizará cuando un 25 % del volumen de las lagunas se encuentre colmatado, es decir cuando el volumen de fangos por laguna sea de 1389.59 m^3 se calcula con la fórmula propuesta por Menéndez y Díaz (2006).

$$\text{Frecuencia de limpieza (años)} = \frac{\text{Volumen colmatación (m}^3\text{)}}{\text{Producción fangos (m}^3\text{/año)}} \quad [Ec. 30]$$

$$Frecuencia\ de\ limpieza = \frac{1389,59\ m^3}{286.93\ m^3/año}$$

$$Frecuencia\ de\ limpieza = 5\ años$$

Por tanto, cada 5 años se procederá a la limpieza y retirada de fangos de las lagunas.

3.4.1.9 Lechos de turba

Posterior a las lagunas anaerobias, el agua residual se recibirá por efectos gravitatorios a través de un lecho de turba. En la siguiente, Tabla 13 se muestran los parámetros de diseño utilizados para el lecho de turba.

Tabla 13. Parámetros de diseño del lecho de turba

Diseño del lecho de turba	
Variables	Unidades
Tipo de turba	clara, oscura
Percolación	65 l/h/m ²
Carga hidráulica	1,5 m/d
Carga orgánica	0,5 kg DBO5/m ² /d
Carga de Sólidos	0,5 Kg ss/m ² /d
Reserva labores limpieza	30 %

Fuente: Información tomada de Gandarillas, (2016).

A continuación, se calculan las superficies requeridas por percolación, carga hidráulica, carga orgánica y carga de sólidos, considerando los valores del agua residual a la salida de las lagunas anaerobias con la fórmula propuesta por Gandarillas (2016).

$$S_{percolación}(m^2) = \frac{Q_{tratamiento} \left(\frac{m^3}{h} \right)}{Percolación \left(\frac{m^3}{h * m^2} \right)} \quad [Ec. 31]$$

$$S_{percolación} = \frac{90\ m^3/h}{65 \left(\frac{m^3}{h * m^2} \right) * \left(\frac{1m^3}{1000l * m^2} \right)} = 1384.62\ m^2$$

$$S_{Carga\ Hidra\acute{u}lica}(m^2) = \frac{Q_{tratamiento} \left(\frac{m^3}{h}\right)}{CH \left(\frac{m^3}{h * m^2}\right)} \quad [Ec. 32]$$

$$S_{Carga\ Hidra\acute{u}lica} = \frac{90\ m^3/h}{1.5 \left(\frac{m^3}{d * m^2}\right) * \left(\frac{1d}{24\ h}\right)} = 1440\ m^2$$

$$S_{Carga\ Org\acute{a}nica}(m^2) = \frac{Q_{tratamiento} \left(\frac{m^3}{h}\right) * DBO_5 * \frac{Kg}{m^3}}{CO \left(\frac{Kg_{DBO_5}}{h * m^2}\right)} \quad [Ec. 33]$$

$$S_{Carga\ Org\acute{a}nica} = \frac{90\ m^3/h * 0.101\ Kg/m^3}{0.5 \left(\frac{m^3}{d * m^2}\right) * \frac{1d}{24h}} = 436.32\ m^2$$

$$S_{S\acute{o}lidos}(m^2) = \frac{Q_{tratamiento} \left(\frac{m^3}{h}\right) * SS * \frac{Kg}{m^3}}{CO \left(\frac{Kg_{SS}}{h * m^2}\right)} \quad [Ec. 34]$$

$$S_{S\acute{o}lidos} = \frac{90\ m^3/h * 0.019\ Kg/m^3}{0.5 \left(\frac{m^3}{d * m^2}\right) * \frac{1d}{24h}} = 82.08\ m^2$$

Al comparar los cuatro resultados se observa que la superficie más restrictiva es la obtenida a través de la limitación en carga hidrauica, por lo cual, este valor será el mayor y cumple con el resto de las limitaciones, será el valor con el cual se procederan los cálculos. Considerando entonces un área requerida de percolación igual a 1435 m² se procede a calcular la superficie total requerida considerando el excedente por labores de limpieza con la fórmula propuesta por Gandarillas (2016).

$$S_{Total} = S_{CH} (1 + 0.3) \quad [Ec. 35]$$

$$S_{Total} = 1435\ m^2 * (1.3) = 1865.5\ m^2$$

En un sistema de lechos de turba, la superficie máxima por unidad es de 500 m², por lo cual al dividir el área total requerida entre la superficie unitaria tendremos un total de 4 lechos de turba en la planta de tratamiento. La dimensión individual de cada lecho será de 20 metros de ancho por 25 metros de largo. En la siguiente, Tabla 14 se muestran la altura de los lechos que se toman para secciones típicas.

Tabla 14. Altura de los lechos

Perfil de la turba	
Variables	Unidades
Espesor capa de turba	40 cm
Lámina de Geotextil	
Espesor capa arena fina	10 cm
Espesor capa gravilla	10 cm
Espesor capa de grava	30 cm

Fuente: Información tomada de Gandarillas, (2016).

La altura total del lecho será aproximadamente de 90 cm, contando con arena, gravilla y grava como soportes, una lámina de geotextil de poliéster para separar la turba de la arena. Se procede a calcular el volumen unitario de cada uno de los materiales utilizados en los lechos, multiplicando la superficie unitaria por la altura de cada capa. En la siguiente, Tabla 15 se muestran los volúmenes por lecho.

Tabla 15. Volúmenes unitarios por lecho

VOLUMEN UNITARIO	
Variables	Unidades
Volumen turba	200 m ²
Volumen arena fina	50 m ²
Volumen gravilla	50 m ²
Volumen grava	150 m ²

Con la densidad de la turba, se calculan los kilogramos de turba necesarios por lecho con la fórmula propuesta por Gandarillas (2016).

$$Kg_{Turba} = V_{Unitario Turba} (m^3) * P_{Turba Clara} \frac{Kg}{m^3} \quad [Ec. 36]$$

$$Kg_{Turba} = 200 m^3 * 60 \frac{Kg}{m^3} = 12000 Kg$$

3.4.1.10 Eras de secado

Al tratarse de un sistema biológico, en el que los fangos no son extraídos en continuo, sino que son extraídos periódicamente al realizar las tareas de limpieza de las lagunas, el dimensionamiento será diferente. Las lagunas anaerobias serán limpiadas cuando los fangos ocupen un cuarto de su volumen. La producción de fangos normal en aguas urbanas es de 40 l/hab al año. Por lo que se calcula la producción anual de fangos, que se repartirá de forma homogénea entre las tres lagunas con la fórmula propuesta por Valencia (2008).

$$Producción de fangos \left(\frac{m^3}{año} \right) = \frac{40 \left(\frac{l}{hab} \right) * 21520 habitantes}{3 lagunas} \quad [Ec. 37]$$

$$Producción de fangos = 287 \frac{m^3}{año}$$

Las lagunas se limpian una vez cada 5 años, por lo que se puede determinar la cantidad de fangos que se retira en cada limpieza.

$$Fangos extraídos en c/d limpieza (m^3) = 287 \frac{m^3}{año} * 5 = 1435m^3 \quad [Ec. 38]$$

La superficie necesaria para el secado se obtendrá a partir del volumen de fango a secar y de la altura máxima de fangos que se puede colocar en una era. Según Bosch 1976, la altura máxima de lodos es de 60 cm.

$$\mathbf{superficie\ eras\ (m^2)} = \frac{\mathbf{Fangos\ extraidos\ en\ cada\ limpieza\ (m^3)}}{\mathbf{altura\ m\acute{a}xima\ de\ lodos\ (m)}} \quad [\text{Ec. 39}]$$

$$superficie\ eras = \frac{1435m^3}{0.60m} = 2391m^2$$

Las eras de secado tendrán unas dimensiones adoptadas para este sistema han sido de 25x30 m. El número de eras de secado se obtiene a partir de la superficie unitaria de cada una de ellas con la fórmula propuesta por Valencia (2008).

$$\mathbf{N^o\ eras\ de\ secado} = \frac{\mathbf{superficie\ eras\ (m^2)}}{\mathbf{superficie\ unitaria(m^2)}} \quad [\text{Ec. 40}]$$

$$N^o\ eras\ de\ secado = \frac{2391m^2}{25 * 30m^2} = 3$$

El caudal de lixiviado sera conducido por gravedad hasta las lagunas anaerobias.

4. RESULTADOS

4.1 DETERMINAR LA CALIDAD ACTUAL DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMPUS UNIVERSITARIO

Los parámetros que se detallan a continuación son el promedio de los dos muestreos realizados en la descarga principal de la Universidad Nacional de Loja, que luego fueron llevadas a analizar sus características en el Laboratorio de Análisis Químico. En la Tabla 16 se, presentan los resultados de las características de las aguas residuales de la UNL.

Tabla 16. Resultados de las características de las aguas residuales de la UNL

Parámetros	Unidad	Día de muestreo		Promedio
		Muestra	Muestra	
		1-ARCUNL	2-ARCUNL	
Conductividad Eléctrica	µs/cm	37,8	34,6	36,2
Turbiedad	NTU	178	162	170,00
Color	Pt/Co	3100	2260	2680
Aluminio	mg/L	0,105	0,110	0,1075
Calcio	mg/L	16,00	12,00	14,00
Magnesio	mg/L	16,00	14,00	15,00
Hierro Total (Fe++)	mg/L	0,55	0,49	0,52
Sulfuros	mg/L	0,7010	0,6980	0,6995
Sulfatos	mg/L	1350	1320	1335
Nitrógeno Amoniac	mg/L	15,6	14,3	14,95
Potencial Hidrógeno	pH	7,48	7,34	7,410
Nitritos	mg/L	0,09	0,07	0,0800
Nitratos	mg/L	15,4	14,3	14,85
DQO	mg/L	255	249	252,00
DBO5	mg/L	273	291	282,00
Sólidos suspendidos totales	mg/L	138,7	136,5	137,60
Coliformes totales	UFC/100 mL	800000	200000	500000,0
Coliformes fecales	UFC/100 mL	280000	260000	270000,00

Fuente: LAQ/UNL, (2019).

En la determinación de la calidad del agua residual de UNL se determinó que los parámetros físicos; la turbiedad y el color no cumple con límites máximos permisibles. Mientras tanto los parámetros químicos; aluminio, calcio, hierro total y el pH cumplen con los límites máximos permisibles mientras que los sulfuros, sulfatos, nitritos, nitratos, DQO, DBO5, sólidos suspendidos totales no cumplen. En los parámetros biológicos; los coliformes totales, coliformes fecales no cumple con límites máximos permisibles.

4.2 ANALIZAR DISTINTOS MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES AL CAMPUS

Con las características de las aguas residuales y el costo del mismo se plantea una combinación de tratamientos (físicos-biológicos) este empleo, resulta altamente efectivo para la eliminación o estabilización de estos contaminantes.

Los tratamientos previamente seleccionados según sus características intrínsecas para ser implementados en la propuesta de diseño para el tratamiento de aguas residuales en la Ciudadela Universitaria. Los mismos involucran procesos tanto aerobios como anaerobios, al igual que algunos tratamientos físicos adicionales.

4.2.1 Análisis de las alternativas

Los tratamientos físicos (canal de llegada, rejillas y desarenadores) deben ser implementados en todos los diseños de tratamientos. Por lo cual no serán analizados en este apartado y los químicos quedan descartados por el costo que representa. A continuación, en la Tabla 17 se muestran las distintas alternativas de tratamientos biológicos que se han valorado para la realización de la propuesta de diseño para el tratamiento de las aguas residuales de la UNL, sector la Argelia.

Tabla 17. Estudio de las diferentes alternativas

Tratamientos	Lagunaje	Lecho de turba	Humedales	Filtro verde	Filtro percolador	Factor de ponderación
Parámetros						
Costes de operación y mantenimiento	10	6	10	8	4	10
Costes de inversión	4	8	4	4	4	9
Personal cualificado	8	8	6	4	6	6
Rendimiento de eliminación	10	8	6	4	10	8
Superficie	1	8	4	1	4	4
Generación de olores	4	10	1	4	6	4
Influencia del clima	8	8	8	8	8	4
Consumo eléctrico	10	10	10	10	6	10
Flexibilidad	8	6	4	4	8	6
Integración paisajística	8	8	10	8	6	4
Reutilización	10	8	1	8	8	6
Total	81	88	64	63	70	-

Como se observa en el la Tabla 17, el tratamiento con mayor puntuación son los lechos de turba por lo que esta será la alternativa seleccionada para esta propuesta. Para proteger el lecho de turba frente a la colmatación se instalará un lagunaje anaerobio previo. Se completará el proceso con la instalación de tratamientos físicos, canal de llegada, rejilla, desarenador esto permite no dañar los posteriores tratamientos.

4.3 DEFINIR EL TRATAMIENTO ÓPTIMO PARA LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMPUS UNIVERSITARIO

Con el análisis que se realizó en la Tabla 17 se definió el siguiente tratamiento:

- **Canal de llegada**

Tabla 18. Dimensiones del canal de llegada

Canal de llegada	
VARIABLES	UNIDADES
Radio hidráulico	0.02110 m
Pendiente	0.18 %
Velocidad	1.58 m/s
Caudal diseño	0.076 m
Altura de agua en el canal	0.1963 m
Ancho	1.20 m
Largo	2.50 m
Altura total del canal	1.70 m

El canal de llega consta de una dimensión de 2.50 m de largo, 1.20 m de ancho y una altura de 1.70 m con una pendiente 0.18 % permitiendo esto controlar la velocidad del agua, la altura del canal de agua no debe sobrepasar 0.1963 m.

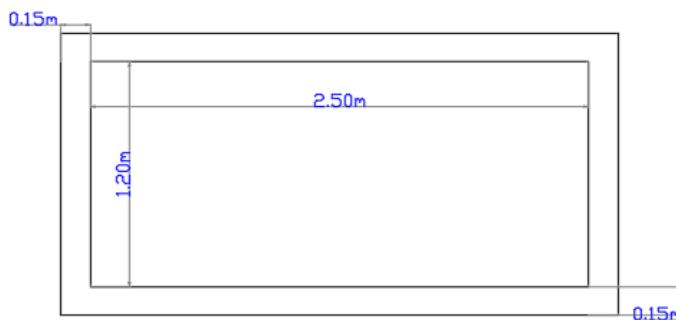


Figura 5. Vista superior del canal de llegada

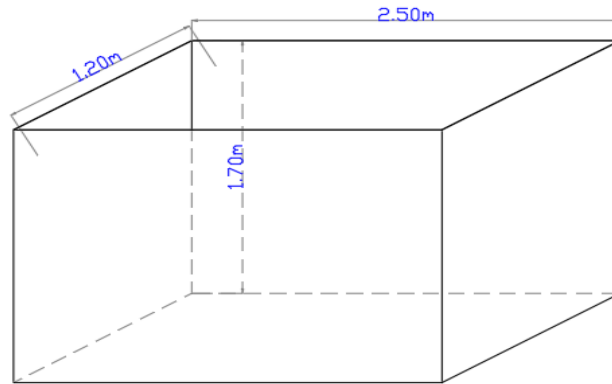


Figura 6. Vista de perfil del canal de llegada

- **Rejillas**

Tabla 19. Dimensiones de las rejillas

Rejilla	
Variables	Unidades
Luz de paso	10 mm
Ancho	1.20 m
Altura total del canal	1.70 m
Longitud de las barras	1.27 m
Número de barras	33
Ángulo de inclinación α	50°
Pérdida de carga	0.6423 m

En el mismo canal se colocarán las rejillas con una dimensión de altura 1.27 m y ancho 1.20 m teniendo una luz de paso 10 mm, el número de barras es de 33 con una inclinación de 50 grados. Estas dimensiones nos permitirán proteger las unidades del sistema y evitar que se tenga un inadecuado funcionamiento desde el inicio, cuya finalidad es la retención de objetos de mayor tamaño con las cuales el sistema se vea comprometido. Los materiales atrapados en las rejillas se retiran manualmente, para luego darle una disposición final.

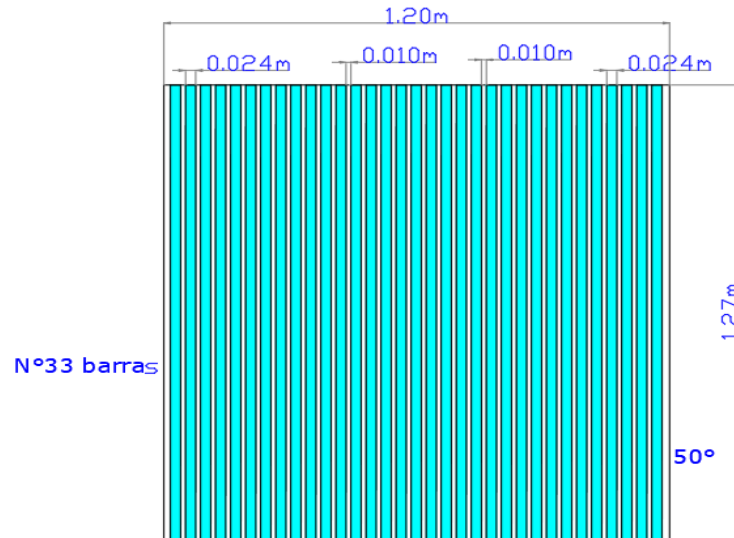


Figura 7. Diseño de las rejillas

- **Desarenador**

Tabla 20. Dimensiones del desarenador

Desarenador	
Variables	Unidades
Altura	1.65 m
Ancho	1.20 m
Largo	19 m
Superficie	0.68 m^2
Velocidad	1.58 m/s
Tiempo decantación	0.33 s

El desarenador con dimensiones 19 m de largo, 1.20 m de ancho, altura de 1.65 m y con un tiempo de decantación de 0.33 segundos, permitirá la sedimentación de las arenas. La limpieza del desarenador se realizará manualmente, por lo que se dispondrá de un equipo de iguales dimensiones como reserva.

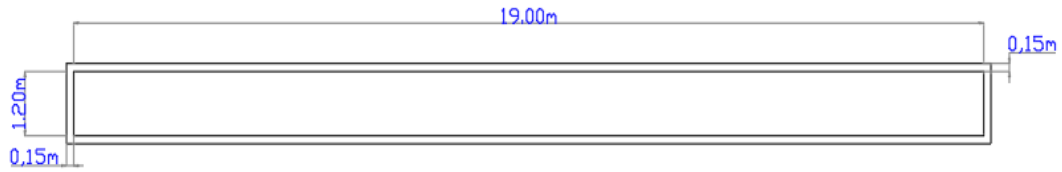


Figura 8. Vista de la parte superior del desarenador

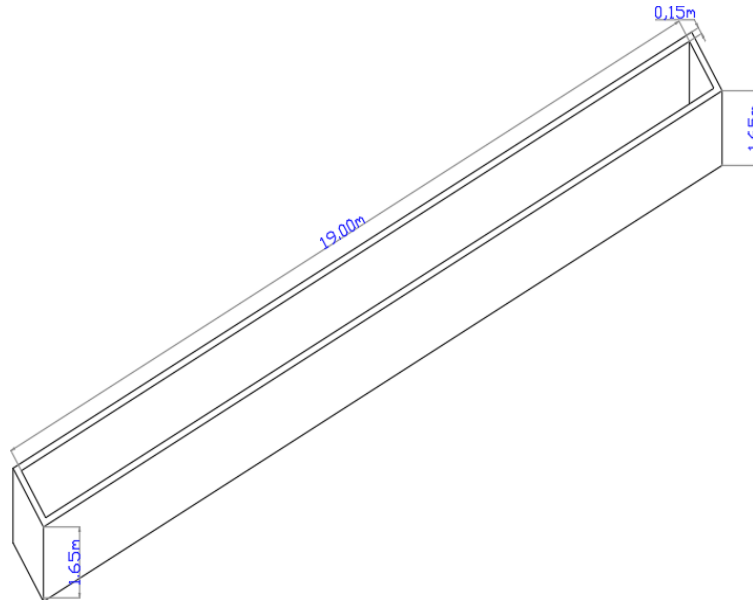


Figura 9. Vista de la parte lateral del desarenador

En siguiente, Tabla 21 se muestran los rendimientos de eliminación típicos de un tratamiento físico.

Tabla 21. Rendimientos de eliminación en el tratamiento físico

Parámetro	Rendimiento
Sólidos suspendidos totales	30 %
DQO	30 %
DBO5	10 %

Fuente: Información tomada de Aznar, (2008).

Con estos rendimientos de eliminación se puede estimar el contaminante que tendrá el agua al salir del pretratamiento. En la siguiente, Tabla 22 se presentan los datos del agua residual de la UNL a la salida del tratamiento físico (canal de llegada, rejilla, desarenador).

Tabla 22. Condiciones del agua residual a la entrada y salida del tratamiento

Parámetros	Entrada	Salida
Sólidos suspendidos totales	137.60 mg/L	96.32mg/L
DQO	252.00 mg/L	176.4mg/L
DBO5	282.00 mg/L	253.8mg/L

- **Laguna anaerobia**

Tabla 23. Dimensiones adoptadas para cada laguna anaerobia

Laguna anaerobia	
VARIABLES	UNIDADES
N ° lagunas	3
Profundidad	4 m
Ancho en superficie	25 m
Largo en superficie	46.5 m
Área en superficie	1162.5 m ²
Tiempo de retención real	3 días
Área en el fondo	924.5m ²
Volumen laguna	5558.36 m ³

Se dispondrán 3 lagunas en paralelo para mayor flexibilidad en la operación del sistema. La laguna anaerobia tiene una dimensión 46.5 m de largo por 25 m y con una altura de 4 m, las mismas que retendrán 3 días a las aguas residuales para el proceso biológico. Las lagunas anaerobias son de geometría tronco piramidal, por lo que la superficie varía según la profundidad. Para asegurar la continuidad de operación en el caso de limpieza y retirada de fangos, cada laguna dispondrá de una segunda.

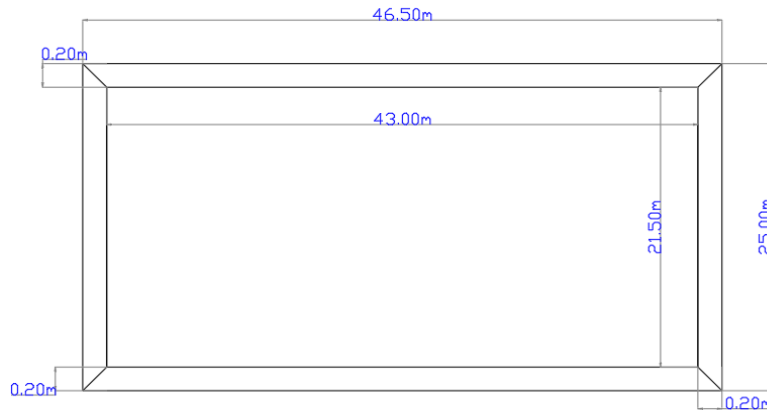


Figura 10. Vista de la parte superior de la laguna anaerobia

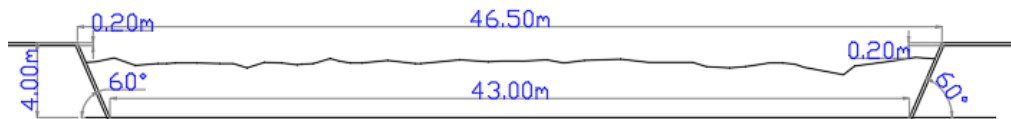


Figura 11. Vista de perfil de la laguna anaerobia

- Rendimientos de eliminación.** - En las lagunas anaerobias se persigue retener la mayor parte de los sólidos, que pasan a incorporarse a la capa de fangos acumulados en el fondo, eliminándose por consiguiente parte de la materia orgánica. Esta disminución se va a expresar como DBO_5 , por ser una población flotante, con cargas orgánicas muy elevadas y bajo caudal, se va a considerar el caso más desfavorable. En la siguiente, Tabla 24 se muestran los rendimientos de eliminación típicos de la laguna anaerobia.

Tabla 24. Rendimiento de eliminación de la laguna anaerobia

Rendimiento de la laguna anaerobia	
Parámetro	Rendimiento
Sólidos suspendidos totales	80 %
DQO	60 %
DBO ₅	60 %
Coliformes fecales	40 %

Fuente: Información tomada de Tsunao y Sánchez, (2016).

Con estos rendimientos de eliminación se puede estimar el contaminante que tendrá el agua residual de la UNL, al salir de las lagunas anaerobias. En la Tabla 25, se presentan los datos del agua residual de la UNL a la salida de la laguna anaerobia.

Tabla 25. Características del agua residual entrada y salida de la laguna anaerobia

Parámetro	Entrada	Salida
Sólidos suspendidos totales	96.32 mg/L	19.26 mg/L
DQO	176.4 mg/L	70.56 mg/L
DBO5	253.8 mg/L	101.52 mg/L
Coliformes fecales	270000.00 UFC/100mL	162000.00 UFC/100mL

Estos serán los valores tomados para el afluente de los lechos de turba, que es el siguiente paso en este sistema depurativo.

- **Lechos de turba**

Tabla 26. Dimensiones adoptadas para cada lecho

Diseño del lecho de turba	
Variabes	Unidades
Tipo de turba	clara
Largo	25 m
Ancho	20 m
Altura	1.60 m
Carga hidráulica	1,5 m/d
Reserva labores limpieza	30 %

Complementariamente se requiere de 4 lechos de turba con una dimensión 25 m de largo por 20 m de ancho con una altura de 1.60 m; siendo necesario considerar un 30 % de superficie adicional para labores de limpieza. La altura total del lecho claro será aproximadamente de 90 cm, contando con arena, gravilla y grava como soportes, una lámina de geotextil de poliéster para separar la turba de la arena.

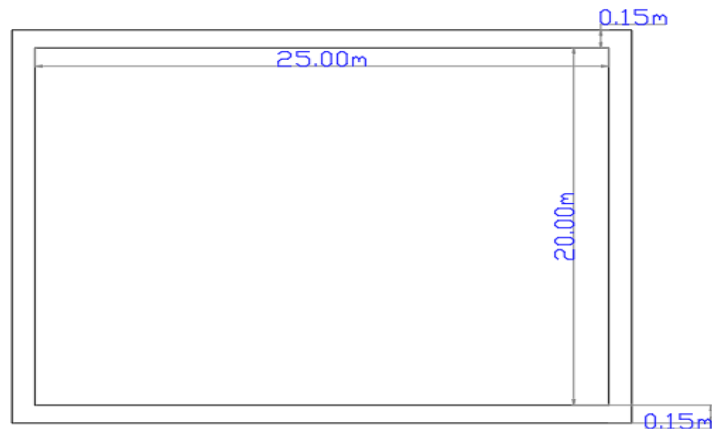


Figura 12. Vista de la parte superior del lecho de turba

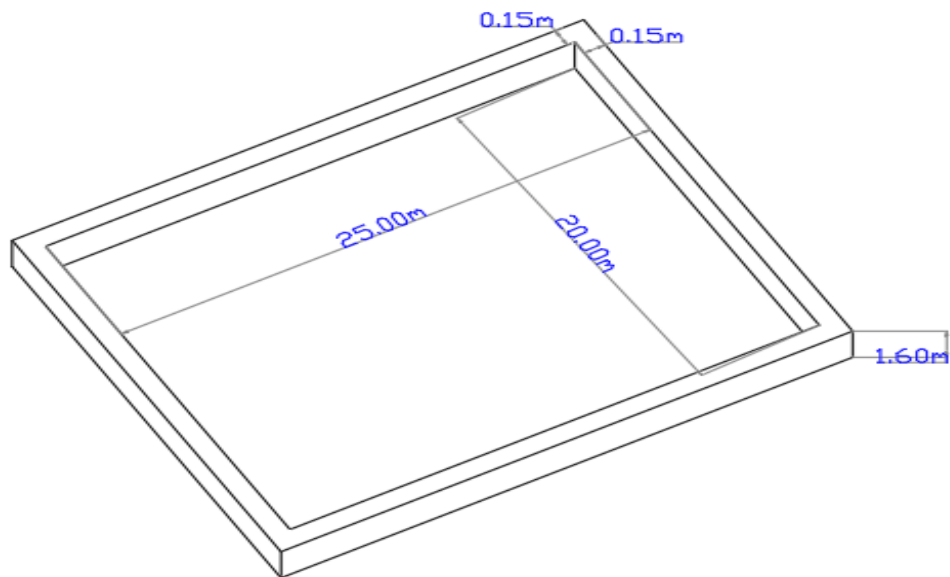


Figura 13. Vista de la parte lateral del lecho de turba

De esta forma el dimensionamiento de los lechos queda definido, y ahora procederemos a realizar el balance de masa pertinente para conocer las características del agua a la salida de nuestro sistema. En la siguiente, Tabla 27 se muestran el rendimiento de eliminación típicos de lechos de turba.

Tabla 27. Rendimiento de eliminación en lechos de turba

Parámetro	Rendimiento
Sólidos suspendidos totales	95 %
DQO	80 %
DBO5	85 %
Coliformes totales	90 %
Coliformes fecales	80 %

Fuente: Información tomada de Gandarillas, (2016).

Al multiplicar las concentraciones de entrada por sus respectivos rendimientos se obtienen los parámetros de salida. En la Tabla 28, se presentan los datos del agua residual de la UNL a la salida del lecho de turba.

Tabla 28. Características del agua residual a la entrada y salida de los lechos de turba

Parámetro	Entrada	Salida
Sólidos suspendidos totales	19.26 mg/L	0.96 mg/L
DQO	70.56 mg/L	14.11 mg/L
DBO5	101.52 mg/L	15.23 mg/L
Coliformes totales	500000.00 UFC/100m/L	50000 UFC/100m/L
Coliformes fecales	162000.00 UFC/100m/L	32400 UFC/100m/L

- **Eras de secado**

Tabla 29. Dimensiones de la era de secado

Dimensiones de la era de secado	
VARIABLES	UNIDADES
Fangos de lagunas anaerobias	1435 m^3
Concentración fangos	1 %
Pendiente solera	3 %
Superficie necesaria	2391 m^2
Profundidad de llenado	60 cm
Ancho	25 m
Largo	30 m
Nº eras	3
Tiempo necesario para secado	7 días (verano)

Las eras de secado con medidas 30 m de largo y 25 m de ancho y 1 m de alto lo cual permitirá el secado de los lodos extraídos de las lagunas anaerobias y de los demás tratamientos.

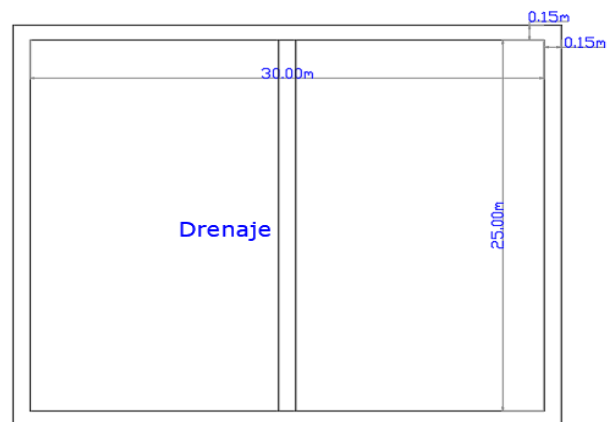


Figura 14. Vista de la parte superior de la era de secado

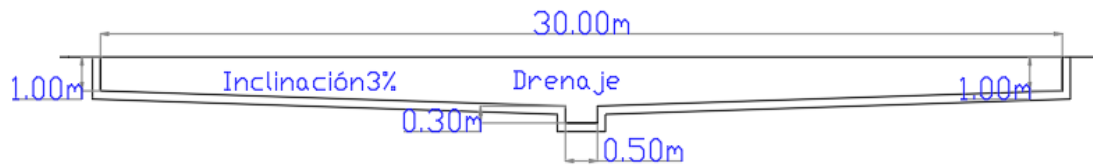


Figura 15. Vista de la parte lateral de la era de secado

4.3.1 Construcción

El área de estudio establecida para la propuesta del tratamiento de aguas residuales de la UNL estará ubicada cercana a la Ciudadela Universitaria, concretamente en la orilla del Río Malacatos que tendrá una extensión de 2.5 hectáreas.



Figura 16. Área de la propuesta del tratamiento de aguas residuales de la UNL

4.3.1.1 Obra de llegada

El agua residual llegará al diseño de tratamiento a través de un colector. A la entrada, se colocará un canal de hormigón para conducir el agua hacia el pretratamiento para que, no haya una variación de caudales y el sistema no se colapse.

4.3.1.2 Desarenador

El desarenador seleccionado es un desarenador de flujo horizontal que son canales rectangulares donde se mantiene una velocidad controlada del agua residual, de forma que las arenas sedimentan y los sólidos orgánicos no pasen a las siguientes unidades de tratamiento. El parámetro principal de diseño es la velocidad horizontal del flujo a través de la unidad.

4.3.1.3 Lagunas anaerobias

Una vez definidos en el plano la ubicación de las lagunas, determinada por la posición del colector y también por la disponibilidad de terreno, se procederá a efectuar el replanteo en el terreno, siguiendo estrictamente las indicaciones de los planos, en cuanto a distancias, rumbos, etc.

Se realizará el desmonte, que consiste en el corte y desenraizado de árboles, arbustos, hierbas o cualquier otro tipo de vegetación, y su retiro. Todo este material removido debe sacarse fuera de los límites del predio de la instalación de tratamiento y de sus accesos.

4.3.1.4 Conducciones

Se trata de tuberías o canales que transportan el agua entre los diferentes procesos del tratamiento de agua. En muchos casos una tubería que atraviesa, bajo el nivel del espejo de agua, es suficiente para establecer una interconexión adecuada.

Esta red de tuberías trabajará por gravedad. Por ello, se utilizarán tuberías convencionales de saneamiento (PVC, fibrocemento, hormigón).

4.3.1.5 Lechos de turba

El sistema de lechos de turba consistirá en un lecho inundado de un total de 90 cm de espesor formado por diversas capas que se encargarán de depurar las aguas. Se empleará un

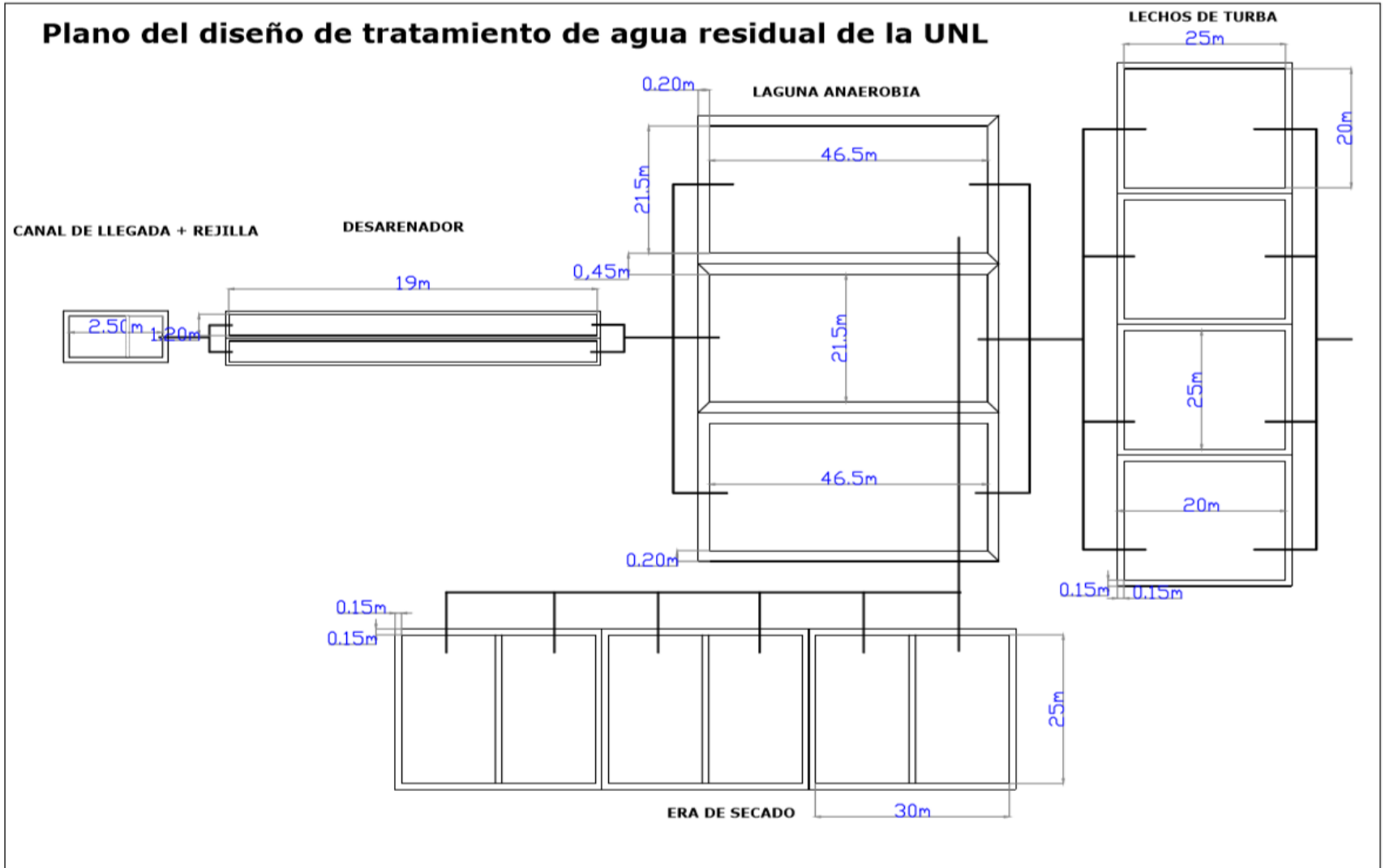
soporte drenante formado por arena fina, gravilla y grava que se encontrará separado por una malla de geotextil sobre la cual se instalará la turba clara, y posteriormente un sistema de drenado en la parte inferior para transportar el agua residual.

Al igual que en el resto de tratamientos, para poder implantar este sistema con un reparto por gravedad es imprescindible considerar la geografía del terreno desde un principio.

4.3.1.6 Eras de secado

Para la construcción de las eras de secado, primero se realizarán las labores de limpieza y desbroce del terreno donde se van a disponer las diferentes eras. Para esto deberán poseer una cubierta que evite el ingreso de lluvia. Esta losa deberá poseer una cierta inclinación de alrededor del 3 %, lo que permitirá que la humedad sea recogida en un canal principal para ser enviada de vuelta al sistema de tratamiento. La estructura se realizará con hormigón armado de 15 cm de espesor, lo que sirve como método de impermeabilización.

4.3.1.7 Plano de construcción



4.3.1.8 Varios

Se engloba todas las unidades complementarias de urbanización de la instalación, como caseta de servicio, cerramiento, caminos de coronación, alumbrado y jardinería. Además, hay que tener en cuenta la construcción de una zanja para la recogida de aguas pluviales, así como disponer de acceso para la toma de muestra en los diferentes procesos.

4.3.2 Operación y mantenimiento

Es importante mantener las instalaciones de toda la planta en adecuadas condiciones. El cercado debe estar en buen estado para evitar la entrada de animales y personas ajenas a la planta, así como las interconexiones entre todas las estructuras de entrada y salida de la planta también deben ser limpiadas con regularidad.

4.3.2.1 Operación y mantenimiento de cada unidad

Una vez efectuada la tarea, se lavará y desinfectará las herramientas empleadas y el operador deberá realizarse un buen aseo personal.

- **Canal de entrada.** - Las actividades que se deben realizar es inspección, limpieza de desechos sólidos, escombros y la frecuencia es una vez a la semana, las herramientas a emplear es rastrillo, pala de mano, carretilla.
- **Rejilla.** - Las actividades que se deben realizar es inspección, limpieza de sólidos de tamaño grande y mediano (trozos de madera, trapos, raíces, etc.) así como de finos y la frecuencia es una vez al día en invierno, 2 veces por semana en verano las herramientas a emplear rastrillo, pala de mano, carretilla.
- **Desarenador.** - Las actividades que se deben realizar es inspección y retiro de arenas y otros materiales que se acumulan en el fondo del desarenador y la **frecuencia** es una vez a la semana las herramientas a emplear son: pala de mano, balde, carretilla.
- **Lagunas anaerobias.** - Las actividades que se deben realizar es remoción de la materia flotante retenidos en la superficie, control de la vegetación acuática la frecuencia es una vez al día y la limpieza de las válvulas del sistema una vez cada 6 meses, las herramientas a emplear cepillos de mango largo, cucharones, baldes, palo largo para limpiar natas de grasas y vegetación.

- **Lechos de turba.** - Las actividades que se deben realizar es eliminación de la costra superficial una vez por día y reposición de la turba una vez al año, las herramientas a emplear son: rastrillo, carretillas y palas.
- **Aras de secado.** - Las actividades que se deben realizar es inspección, limpieza del dren frecuencia quincenal, las herramientas a emplear rastrillo, carretilla, pala.
- **Operador del diseño de tratamiento.** -El operador es la persona encargada de la operación, mantenimiento, supervisión y control del correcto funcionamiento de cada una de las unidades y de los procesos desarrollados en la depuradora de aguas residuales.
- **Equipo de trabajo.** - El operador debe estar equipado con: botas de hule, guantes, overol, mascarilla y casco. En su equipo debe incluir una linterna, para posibles inspecciones nocturnas durante eventos máximos de lluvia.
- **Toma de muestras.** - Además de lo anteriormente señalado el operador deberá tomar muestras de agua residual a la salida final del tratamiento, para analizar los parámetros físicos, químicos y biológicos. Esta actividad deberá realizarse trimestralmente, para evaluar el funcionamiento de la depuradora.

4.3.3 Análisis económico

En este apartado se resumen, todos los costos derivados de la construcción, operación y mantenimiento de sistema de tratamiento de aguas residuales. En la Tabla 30 se, presentan resultados del cálculo de inversión en la cual intervienen diferentes factores.

Tabla 30. Costo de diseño del tratamiento de aguas residuales de la UNL

Actividad / Construcción	Unidad	Costo (dólares)
Terreno	2.5 Hectáreas	Propiedad de la UNL
Desbroce y limpieza		6500.00
Movimiento de tierras		7500.00
Geotextil	Metros	1190.00
Conducciones	Metros	3316.00
Canal de llegada construcción		280.00
Rejilla		550.00
Compuerta		700.00
2 desarenadores construcción		3762.00
3 lagunas anaerobias construcción		10200.00
4 lechos de turba construcción		7400.00
Materiales del lecho		3857.00
Eras de secado		6000.00
Gastos generales (6 %)	\$	3073.50
Total	\$	54300.00

4.3.3.1 Costes de mantenimiento y operación

Los costos de operación y mantenimiento son los referidos al funcionamiento de una planta de tratamiento para hacer producir la capacidad instalada. Estos costos se estiman por vigencias anuales de acuerdo con las proyecciones de producción que se establezcan.

En la Tabla 31 se, presentan costos de operación y mantenimiento del diseño anual para las plantas de tratamiento, estos costes comprenden por lo común los siguientes factores:

Tabla 31. Costos de operación y mantenimiento del diseño anual

Operación y mantenimiento anual	
ACTIVIDAD	COSTO (DÓLARES)
Materiales	2500.00
Personal	4800.00
Manteniendo	500.00
Gastos varios	1000.00
TOTAL	8800.00

Para operación y manteniendo del diseño de tratamiento de aguas residuales de la UNL se presupuestará 8800.00 dólares anuales, sin contar con la subida de precios que se los realizan.

5. DISCUSIÓN

Describir los contaminantes de interés en el tratamiento del agua residual del Campus Universitario están basadas en la eliminación de la materia orgánica, sólidos en suspensión, DBO₅, DQO, coliformes fecales y totales en el agua residual como lo indica (Fuentes y Melgar, 2011).

La caracterización física, química y biológica del agua con el objeto a tratar tienen características favorables para procesos de tratamiento biológico teniendo valores de SST 137.60 mg/l, DBO₅ 282.00 mg/l, DQO 252.00 mg/l, coliformes totales 500000.00 UFC/100 mL y Coliformes fecales 270000.00 UFC/100 mL, pH de 7.410, teniendo en cuenta las exigencias normativas incluyen también la eliminación de compuestos orgánicos refractarios, metales pesados y en algunos casos, sólidos inorgánicos disueltos (Ayala y Gonzales, 2008).

La concentración de sulfatos en el agua residual tiene un valor máximo 1335 mg/L por lo cual es adecuado para tratamientos biológicos, con base al nivel de sulfatos o de esta manera se relaciona con los resultados de coliformes totales 500000.00 UFC/100 mL, coliformes fecales 270000.00 UFC/100 mL tiene valores elevados por lo cual un diseño anaerobio sería el adecuado según Asano y Levine, (2008).

Según Soto y Usma, (2011) un sistema de tratamiento está compuesto por una combinación de operaciones y procesos unitarios (físicos, químicos y biológicos) diseñados para reducir los contaminantes del agua residual a un nivel aceptable.

Según Ruiz, (2015) los tratamientos físicos para las aguas residuales se emplean durante todo proceso depurativo, al ser utilizados estos como un pretratamiento es fundamental implementarlos entre ellos tenemos el desarenador y las rejillas esto nos permite cuidar los equipos y tratamientos posteriores para que no se saturen, las ventajas de utilizar estos es que no se requiere de gran superficie, sin consumo energético y bajo coste de operación, mantenimiento mientras tanto que la desventaja es que deben limpiarse manual y constante, en las variaciones de caudal no opera a su máxima capacidad.

Según Troconis, (2010) los tratamientos químicos para las aguas residuales como: adsorción y procesos electroquímicos son efectivos, remueven los contaminantes al 80 %

previamente utilizando un pretratamiento. Como ventaja es que no generan olores, baja proliferación de vectores y eliminación de patógenos, sin embargo, las desventajas como: elevados costos, personal calificado y el consumo energético hacen que no sea factible implantarlo en el Campus Universitario. Según Urkiaga, (2011) las condiciones de operación en los procesos químicos se llevan a cabo con personal calificado, estos tratamientos son poco efectivos cuando exista variaciones de caudal, para que este tratamiento sea implementado no se necesita amplia extensión de terreno.

Se escogió basándose en la caracterización de las aguas residuales y en el análisis de alternativas de tratamientos, se eligió una combinación de tratamientos (físicos y biológicos) para la cual se estableció en la propuesta de diseño que consta de: un canal de llegada, una rejilla, dos desarenadores, tres lagunas anaerobias y cuatro lechos de turba, complementando en la producción de lodos se definió tres etapas de secado, este sistema tiene una vida útil de 20 años y se consideró para una población futura de 21520 habitantes.

Con base en condiciones del espacio físico se estableció un canal de llegada que será alimentado por gravedad teniendo una dimensión de 2.50 m de largo, 1.20 m de ancho y una altura de 1.70 m. Según Hernández, (2008) el canal de llegada que conduce el efluente de agua residual tratada debe ser un canal a cielo abierto, comúnmente de concreto, estas permiten la eliminación de los objetos grandes y la arena; son denominadas frecuentemente tratamiento preliminar, y son una parte integral del tratamiento físico. En el mismo canal se colocarán las rejillas con una dimensión de altura 1.27 m y ancho 1.20 m que se asemejan al del canal de llegada, el número de barras es de 33 con una inclinación de 50 grados (como se puede de ver en el plano de diseño); en vista que las aguas llegan con gran presión no se requiere de bombas. En las plantas de tratamiento pequeñas, generalmente se instalan rejillas de limpieza manual en un canal, la profundidad del canal depende de las condiciones propias de cada tratamiento, mientras que para el ancho del canal y separación entre barras pueden considerarse las medidas típicas (Rivas, 2014). Además, para evitar la acumulación de sedimentos la planta tendrá dos desarenadores de 19 m de largo, 1.20 m de ancho y una altura de 1.67 m con el objetivo de mejorar el sistema de limpieza. Según Ramalho, (2013) para evitar daños posteriores en las siguientes fases de tratamientos posteriores. Tomándose

en cuenta que en épocas de lluvias arrastra gran cantidad de material, se considera un manejo eficiente del agua con más desarenadores (Valencia, 2013).

Las lagunas anaerobias eliminan y estabilizan gran parte de materia orgánica esto protege de la colmatación al siguiente proceso, reduciendo así los costes de limpieza y mantenimiento, los sólidos en suspensión presentes en el agua residual decantan con mayor facilidad en las lagunas y luego se los retira a través de los fangos. Según Romero, (2010). La estabilización se produce en tres etapas: hidrólisis, acidogénesis, metanogénesis; teniendo estas consideraciones lo ideal son 3 lagunas que tienen una dimensión 46.5 m de largo por 25 m y con una altura de 4 m, las mismas que retendrán 3 días a las aguas residuales para el proceso biológico.

Complementariamente se requiere de 4 lechos de turba con una dimensión 25 m de largo por 20 m de ancho con una altura de 1.60 m; siendo necesario considerar un 30 % de superficie adicional para labores de limpieza. Según Montoya y Loaiza, (2011) las propiedades de la turba absorben sólidos suspendidos por medio de intercambio iónico. Por este motivo actúan como un filtro físico muy efectivo ayudando a la sustentabilidad de microorganismos (hongos y bacterias) que se fijan sobre su superficie y mejoran el rendimiento del sistema.

Otra parte fundamental son las eras de secado cuyo diseño adecuado serían 3 con medidas 30 m de largo y 25 m de ancho y 1m de alto lo cual permitirá el secado con mayor facilidad. Aplicando fuerzas mecánicas y gravitatorias para la eliminación del agua de los lodos siguiendo tres etapas: espesado, deshidratación y secado como lo menciona (Campo, 2010). Estos lodos deshidratados se pueden emplear en la agricultura.

6. CONCLUSIONES

Del presente proceso investigativo se concluye lo siguiente:

- La caracterización física, química y microbiológica del agua residual de UNL corresponde a un agua residual doméstica urbana con concentraciones de SST de 137.60 mg/l, DBO5 de 282.00 mg/l, DQO 252.00 mg/l, Coliformes totales 500000.00 UFC/100 mL y Coliformes fecales 270000.00 UFC/100 mL que sobrepasan el límite máximo permisible para descarga a un cuerpo de agua dulce establecidos por la normativa de calidad ambiental ecuatoriana, por lo que se requiere tratamiento antes de su descarga.
- Considerando la alta biodegradabilidad del agua residual analizada, así como otras características (DBO, DQO, pH, alcalinidad, temperatura, nitrógeno, nitritos, nitratos) se puede concluir que el sistema de tratamiento más conveniente para estas aguas residuales debe ser un tratamiento mixto (físico/biológico), que incluya procesos y operaciones unitarias.
- Del análisis obtenido en los métodos biológicos, se concluye que son tecnologías de muy bajo impacto ambiental, siempre que no se cometan errores de diseño y se tomen precauciones necesarias para el control de todo el tratamiento.
- La propuesta de diseño de tratamiento de aguas residuales está delineada para remover un 75 % de DBO5, un 70 % de DQO, un 80 % de Coliformes fecales y un 90 % de Coliformes Totales.
- Se realizó un estudio económico en el cual se consideraron tanto los costes de inversión como los costes de operación y mantenimiento, demostrando que este proyecto requiere un gasto inferior a plantas depuradoras convencionales.

7. RECOMENDACIONES

Del presente trabajo investigativo se recomienda lo siguiente:

- Es recomendable reforestar o arborizar un perímetro de 30 m a la redonda del sistema, para proteger las condiciones sanitarias del área.
- Implementar un sistema de alcantarillado pluvial para que estas aguas puedan ser vertidas directas al río y no ingresen al sistema depurativo.
- Gestionar que cada laboratorio tenga un manejo adecuado de las sustancias químicas especialmente los desechos líquidos para que no sean vertidos directo al alcantarillado y estos no ocasionen la destrucción de las tuberías.
- Capacitar continuamente al personal encargado de la operación y mantenimiento del sistema depurativo, para evitar futuros problemas técnicos durante la vida útil del mismos.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, C. (2010). *Evaluación y diseños definitivos del sistema de agua potable, alcantarillado sanitario y pluvial de la Universidad Nacional de Loja*. Loja: Ingenieros civiles asociados Cía. Ltda. .
- Arocutipa, J. (2013). *Evaluación y propuesta técnica de una planta de tratamiento de aguas residuales en Massiapo del distrito de Alto Inambari -Sandia”* . Puno – Perú: Universidad Nacional del Altiplano - Puno .
- Asamblea Constituyente del Ecuador. (2008). *Registro Oficial 449*. Quito: Lexis.
- Ayala, R., & Gonzales, G. (2008). *Plantas de tratamiento de aguas residuales* . Cochabamba Bolivia: Grafiasm.
- Aznar, A. (2008). *Las tecnologías ecológicas y de bajo coste*. Madrid: Dpto. de Ciencia e Ingeniería de Materiales e Ingeniería Química de la Universidad Carlos III .
- Benefield, D. (2010). *Aguas Residuales - Purificación*. Barcelona: Reverté S.A.
- Bernis, J. M. (2010). *El caudal mínimo medioambiental del tramo inferior del Río Ebro*. Barcelona: Baix Ebre.
- Bosch, J. R. (1976). *Secado de lodos de aguas residuales por filtración evaporativa natural*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Campo, A. (2010). *Tratamientos de Lodos*. Jalisco: Mendis.
- Castro , D., & Aguirre , F. (2012). *Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores*. Lima: Universidad Peruana Unión.
- Cevallos, S. (2014). *Tratamientos de Agua Residual en la Industria*. Madrid: Grafias.
- Chow, V. T. (1948). *Ámbitos de la hidrología e hidráulica*. EEUU: Universidad Estatal de Pennsylvania.

- Cortes, F., Betancourt, F., & Medrano, F. (2010). *Control Inicial en la Descarga de Aguas Residuales Industriales y Comerciales. Conciencia Tecnológica*, 4. doi:1405-5597
- Delgadillo, O., Camacho, A., & Pérez, L. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de tratamientos terciarios*. Cochabamba. .
- Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York. (2008). *Manual de tratamiento de Aguas Negras*. Nueva York, Estados Unidos: Limusa.
- Fernández, P. (2015). *Guía para la evaluación de la calidad del agua*. Pamplona: Universidad de Pamplona.
- Ferrer Polo, J., Seco Torrecillas, A., & Robles Martínez, A. (2018). *Tratamientos biológicos de aguas residuales*. España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Fuentes, R., & Melgar, E. (2011). *Propuesta de diseño de planta de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Jocoro*. El Salvador: San Miguel.
- Gandarillas, J. L. (2016). *Lechos de Turba Gestión de Aguas Residuales y Reutilización*. Madrid: Escuela de Organización Industrial.
- García, C. (2011). *Proyecto educativo sobre consumo de agua segura dirigido a las familias de la comunidad los Tillales parroquia Sucre Cantón 24 de Mayo Provincia Manabí 2011*. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Facultad de Salud Pública.
- Garduño, B. (2018). *Evaluación del riesgo ambiental de efluentes de estaciones de depuración de aguas residuales en ecosistemas marinos*. España: Universidad de Cádiz.
- Garrido, C. (2018). *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales urbanas a escala de laboratorio*. Loja: Universidad Técnica Particular de Loja.
- Gene, J. (2013). *Evaluación de las lagunas de oxidación y de los humedales como sistemas de tratamiento de aguas residuales en poblaciones de hasta 12500 habitantes*. Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

- Gonzales , M., & Diego , G. (2017). *El agua de calidad para las comunidades amazonicas*. Madrid: Mundiprensa.
- González, L., & Cueva, P. (2012). *Cálculo de gradiente altitudinal*. Barcelona: Seix Barral.
- Guevara, J. (2013). *Programa piloto para la gestion sustentable de residuos solidos urbanos del municipio Sapeacu Bahia*. Brasil: UFRB.
- Guevara, R., & Martínez, T. (2017). *Propuesta para un sistema de tratamiento de aguas residuales del establo de ganado bovino perteneciente a la estación experimental de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador*. Universidad de el Salvador Facultad de Ingeniería y Arquitectura.
- Hernández, A. (2008). *Depuración de Aguas Residuales*. Madrid: Paraninfo.
- Hernández, A. (2015). *Manual de diseño de estaciones depuradoras de aguas residuales*. Madrid: Garceta 2 ed.
- Jiménez, B., Lora, F., & Sette , R. (2003). *Tratamiento de Aguas Residuales*. España: Reverté, s. a.
- Kirschmer, L. (1926). *Formulas Empíricas para el Cálculo de Pérdidas de Cargas Continuas*. Roma: Leloir.
- Lapeña, M. (2009). *Tratamiento de Aguas Industriales, Aguas de Proceso y Residuales*. Mexico: S.A. Marcombo. doi:9788426707406
- Lluria, M. R. (2012). *Sequia en un mundo de agua*. Mexico: Piriguazu.
- Manning, R. (1989). *Cálculo de la velocidad del agua en canales abiertos y tuberías*. Waterford : Britannica.
- Marin Herrada, J. D. (2017). *Guia para diferentes tipos de muestreo de aguas residuales*. Antioquia: Cenicafé.
- Menéndez, C., & Díaz, M. (2006). *Lagunas anaerobias diseño, operación y control*. La Habana: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría.

- Metcalf , & Eddy. (2005). *Ingeniería de Aguas Residuales Tratamiento, Vertido y Reutilización* (Vol. 1). Madrid España: McGraw-Hill.
- Montoya, C., & Loiaza, D. (2011). *Efecto de incremento en la turbiedad del agua cruda sobre eficiencia de procesos convencioanales de potabilización*. Medellin: Escuela de Ingenieria de Antioquia.
- ONU. (2017). *AGUAS RESIDUALES EL RECURSO NO EXPLOTADO*. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos.
- Oswald, U. (2011). *etos de la investigación del agua en México*. México: UNAM.CRIM.
- OPS. (2006). *Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe*:. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/eswww/fulltext/resisoli/dsm/dsm.html>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Oficina Regional para America Latina y el Caribe; Municipio de Loja; Naturaleza y Cultura Internacional. (2007). *Perpectivas del medio ambiente urbano Geo Loja*.
- Ramalho, R. (2013). *Tratamiento de agua residuales* (Vol. 5). Barcelona: Reverté,S.A.
- Ramos , R., Sepúlveda, R., & Francisco , V. (2013). *El agua en el medio ambiente, Muestreo y análisis*. Mexicali, Baja California: Universidad Autónoma de Baja California. doi:9707221410
- Ramos, G. (2009). *Diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para Juive Chico La Pampa*. Baños Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Chimborazo.
- Ramos, P. (2016). *Calidad y Tratamiento del agua*. Madrid: Mc Graw-Hill Profesional .
- Reutelshöfer, T., & Guzmán, L. (2015). *Guía para la toma de muestras de agua residual*. La Paz, Bolivia: Periagua.
- Reynolds, K. (2012). *Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica*. EEUU: Universidad de Arizona.
- Rivas , M. (2014). *Tratamiento de aguas residuales*. Caracas: Vega.

- Rojas, J. R. (2008). *Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y Principios de Diseño*. Bogotá – Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería Tercera edición.
- Romero, J. A. (2010). *Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y principios de diseño*. Santa Fé de Bogotá Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Ronzano, E., & Dapena, J. L. (2005). *Tratamiento Biológico De Las Aguas Residuales*. Madrid: Diaz de Santos S.A.
- Ruiz, O. (2015). *Tratamiento físico - químico de aguas residuales*. México: Aqua .
- Sastre, S. (2007). *Aguas residuales problematica mundial y tecnologias para la sostenibilidad*. Madrid - España.
- SECRETARIA NACIONAL DEL AGUA. (2010). *Linea basea para el monitoreo de la calidad del agua de riego en la demarcación hidrografica del Guayas*. QUITO.
- Sotelo, G. (1999). *Hidraulica General*. Mexico: Limusa.
- Soto, M., & Usma, A. (2011). *Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos*. Antioquia, Colombia: Producción mas limpia.
- Tchobanoglous, C. y. (2000). *Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones*. Santafé de Bogotá: McGraw-Hill.
- Tejero, J. (2015). *Depuración de aguas residuales con humedales artificiales* . Cantabria: Universidad de Cantabria.
- Temprano, J., Tejero, I., Suarez, J., & Jacóme, A. (2011). *Introducción a la Ingeniería Sanitaria y Ambiental*. España: Universidad de Cantabria-Universidade da Coruña.
- Troconis, A. (2010). *Tratamiento de Aguas Residuales*. México : Belzona.
- Tsunao, M., & Sánchez Ortiz, I. A. (2016). Desempeño de las lagunas anaerobia con baffle divisor y facultativa de la PTAR de Santa Fe. *Ingeniería Universidad de Medellín*.
- TULSMA. (2015). *Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente límites admisibles para el vertido en cursos de agua dulce*. (Vol. LIBRO VI ANEXO 1). Quito.

- Tuset, S. (2015). *Tratamiento de aguas residuales industriales*. Barcelona: Premia de Dalt.
- Urkiaga, A. (2011). *Tratamiento Químico de Aguas Residuales*. País Vasco: Gaiker.
- Valencia, A. (2013). *Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales de la cabecera parroquial de San Luis - provincia de Chimborazo* . Riobamba, Ecuador:
Tesis de pregrado.
- Valencia, N. (2008). *Secado Solar de Lodos*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México .
- Zurita, F., Castellano, O., & Rodríguez, A. (2011). El tratamiento de las aguas residuales municipales en las comunidades rurales de México. *Scielo*, 2.

9. ANEXOS

Anexo 1. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/L	30,0
Aluminio	Al	mg/L	5,0
Arsénico total	As	mg/L	0,1
Cadmio	Cd	mg/L	0,02
Cianuro total	CN	mg/L	0,1
Cinc	Zn	mg/L	5,0
Cloro Activo	Cl-	mg/L	0,5
Cloruros	Cl	mg/L	1 000
Cobre	Cu	mg/L	1,0
Cobalto	Co	mg/L	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	2000
Color real	Color real	unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos Fenólicos	Fenol	mg/L	0,2
Demanda Bioquímica de oxígeno (5 días)	DBO5	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	200,0
Estaño	Sn	mg/L	5,0
Fluoruros	F	mg/L	5,0
Fósforo Total	P	mg/L	10,0
Hierro total	Fe	mg/L	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/L	20,0
Manganeso total Mn	Visibles		Ausencia
Materia flotante		mg/L	2,0
Mercurio total	Hg	mg/L	0,005
Nitrógeno amoniacal	N	mg/L	30,0
Nitrógeno Total Kjedahl	N	mg/L	50,0
Níquel	Ni	mg/L	2,0

Fuente: TULSMA, (2015)

Anexo 2. Promedio de los resultados de los ensayos de laboratorio con relación al límite permisible

Parámetros	Unidades	Día de muestreo		Promedio	Limite permisible	Cumplimiento
		Martes	Miércoles			
Conductividad Eléctrica	µs/cm	37,8	34,6	36,2	0,70-3,00	No cumple
Turbiedad	NTU	178	162	170,00	<100	No cumple
Color	Pt/Co	3100	2260	2680	10 cm de muestra diluida.	No cumple
Aluminio	mg/L	0,105	0,110	0,1075	<5	Cumple
Calcio	mg/L	16,00	12,00	14,00	-	-
Magnesio	mg/L	16,00	14,00	15,00	-	-
Hierro Total (Fe++)	mg/L	0,55	0,49	0,52	<10	Cumple
Sulfuros	mg/L	0,7010	0,6980	0,6995	0,5	No cumple
Sulfatos	mg/L	1350	1320	1335	1000	No cumple
Nitrógeno Amoniac	mg/L	15,6	14,3	14,95	15	Cumple
Potencial Hidrógeno	pH	7,48	7,34	7,410	5-9	Cumple
Nitritos	mg/L	0,09	0,07	0,0800	0,05	No cumple
Nitratos	mg/L	15,4	14,3	14,85	10,0	No cumple
DQO	mg/L	255	249	252,00	160-250	No cumple
DBO5	mg/L	273	291	282,00	100	No cumple
Sólidos suspendidos totales	mg/L	138,7	136,5	137,60	100	No cumple
Coliformes totales	UFC/100ml	800000	200000	500000,0	<10 ⁴	No cumple
Coliformes fecales	UFC/100ml	280000	260000	270000,00	Remoción > al 99,9 %	No cumple

Fuente: LAQ/UNL 2019

Anexo 3. Punto de muestreo del agua residual de UNL



Anexo 4. Análisis de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos en el LAQ

